UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis económico de tecnologías de iluminación domiciliaria

Trabajo de Investigación para optar el Grado de
Bachiller en Ingeniería Mecánico - Eléctrica

Eduardo Renato Grados Portocarrero
Junior Imán Coveñas
Cristhian Daniel Melendres Córdova
Anthony Rolando Ocaña Huamán
Yerson Miguel Ojeda Córdova

Asesor:
Dr. Ing. Edilberto Horacio Vásquez Díaz

Piura, diciembre de 2020

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Agradecimientos

Gracias a Dios por estar en nuestro camino en todo momento, así como a nuestros padres que, gracias a sus enseñanzas y esfuerzo, pudimos lograr culminar este trabajo de investigación.

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Resumen

En la actualidad, el uso de energía eléctrica es esencial para realizar gran parte de nuestras actividades diarias, dando una mejor calidad de vida a las personas y otorgando muchas ventajas y beneficios tanto para la vida cotidiana como para la industria.

En los últimos años, el ahorro energético ha tomado mucha relevancia a nivel mundial, no solo debido a que beneficia económicamente a millones de personas, sino también por disminuir los niveles de contaminación global que produce su generación debido a la emisión de gases dañinos a la atmósfera.

Ahorrar y usar eficientemente la energía eléctrica no significa que las personas deban disminuir su calidad de vida, ni sacrificar las actividades cotidianas, ni mucho menos disminuir la eficiencia productiva de una empresa en el sector industrial, por el contrario, significa satisfacer todas esas necesidades usando la menor energía posible, es decir, optimizando el consumo de energía eléctrica.

En el Perú, el sector residencial alcanzó un alto consumo energético en el año 2016 según la MEM, por lo que se ha visto necesario realizar una estrategia con el fin de disminuir el consumo eléctrico en las viviendas del país.

En el presente trabajo de investigación se desarrolló una alternativa para disminuir el consumo energético en las viviendas del país, centrándonos en un análisis económico de tecnologías de iluminación domiciliaria. La metodología propuesta se desarrolla en múltiples etapas. En primer lugar, se realizó el diseño de una vivienda de dos pisos en el programa DIALux, con la finalidad de realizar una simulación del sistema luminario, obteniendo los luxes totales requeridos para satisfacer las necesidades del usuario en toda la vivienda. Luego en la simulación se colocaron diferentes tipos de luminarias de la marca Philips: Led, fluorescente, ahorrador, incandescente, con el fin de comparar la eficiencia de cada uno y determinar si cumplen con el requerimiento previsto.

Posteriormente, se procedió a realizar el análisis económico de la vivienda considerando un intervalo de tiempo de 60000 horas, el cual se utilizó los lúmenes requeridos para la correcta iluminación de cada ambiente, pudiendo determinar el número de luminarias necesarias, junto con su consumo, costo total del equipo y cargo tarifario de cada tipo de luminaria.

Al culminar el análisis económico costo-beneficio, se concluyó que la tecnología LED fue la que presentó un mayor ahorro económico, pudiendo obtener un ahorro mínimo de S/.9’020.60 soles al año, obteniendo una mayor rentabilidad en comparación al resto.

Tabla de contenido

Introducción 13

Capítulo 1 15

Estado del arte 15

1.1. Introducción 15

1.2. Problema y justificación 15

1.3. Evolución de las tecnologías de iluminación 16

1.4. Conceptos básicos de iluminación 16

1.4.1. La luz 17

1.4.2. Principales magnitudes 18

1.4.3. Lámparas 21

1.4.4. Luminarias 23

1.5. Tipos de tecnologías de iluminación 24

1.5.1. Incandescente 24

1.5.2. Fluorescente con balasto electrónico 25

1.5.3. Focos ahorradores 26

1.5.4. Focos LED 28

1.6. Normativa para iluminación de interiores 33

Capítulo 2 37

Metodologías, materiales y procedimientos 37

2.1. Estudio y comparación de la eficiencia de las tecnologías de iluminación 37

2.2. Comparativa de las tecnologías de iluminación en cuanto a su impacto ambiental 42

2.3. Selección y simulación de una vivienda estándar utilizando DIALux 46

2.3.1. Resultados de la simulación 48

2.3.2. Análisis económico de la vivienda 48

2.4. Análisis de resultados 52

Conclusiones 55

Referencias bibliográficas 57

Apéndices 59

Apéndice 1: Tabla de luminarias del mercado peruano seleccionadas para iluminar la vivienda según los lúmenes requeridos 61

Planos 63

Planos de la vivienda en DIALux 65

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de luminiscencia según su origen 21

Tabla 2. Diferentes materiales de fabricación del LED junto con su longitud de onda y luz emitida..... 29

Tabla 3. Fragmento de tabla de NORMA EM.010- INSTALACIONES ELÉCTRICAS INTERIORES que definen límites mínimos de iluminación en lux. 33

Tabla 4. Calidad según el tipo de tarea visual o actividad. 35

Tabla 5. Comparativa de tecnologías de iluminación más rentables que la incandescente ... 38

Tabla 6. Iluminarias LED del mercado peruano..... 38

Tabla 7. Focos Ahorradores del mercado peruano 39

Tabla 8. Tubos Fluorescentes del mercado peruano 39

Tabla 9. Focos Incandescentes del mercado peruano 40

Tabla 10. Rendimiento lumínico y vida útil promedio de cada tecnología de iluminación 40

Tabla 11. Resultados de la simulación en DIALux 48

Tabla 12. Resultados de la simulación en DIALux 49

Tabla 13. Comparación de tecnologías de iluminación aplicadas a la vivienda..... 49

Tabla 14. Consumo energético de cada tipo de luminaria aplicado al caso de estudio 50

Tabla 15. Análisis económico por tipo de luminaria para un tiempo de 60000 horas 52

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Lista de figuras

Figura 1. Espectro solar 17
Figura 2. Principales magnitudes de Luminotecnia 18
Figura 3. Curva fotométrica de una lámpara incandescente. 19
Figura 4. Curvas Isocandelas 19
Figura 5. Luminancia de una superficie 20
Figura 6. Partes de una lámpara incandescente 24
Figura 7. Fenómenos ocurridos en el interior de un tubo fluorescente 26
Figura 8. Partes del foco ahorrador 27
Figura 9. Partes de un diodo led 28
Figura 10. Muestra de múltiples chips en un PCB. 31
Figura 11. Elementos externos de una lámpara LED 32
Figura 12. Elementos internos de una lámpara LED 32
Figura 13. Curvas de Mantenimiento en función de su Flujo Luminoso por tipo de tecnología de iluminación 37
Figura 14. Gráfica de Rendimiento lumínico promedio de cada tipo de luminaria 41
Figura 15. Gráfica de Vida útil promedio de cada tipo de luminaria 41
Figura 16. CO2e por luminaria 42
Figura 17. Impacto ambiental en fase de fabricación 43
Figura 18. Impacto ambiental en fase de uso 44
Figura 19. Impacto ambiental en fase de eliminación 45
Figura 20. Impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. 45
Figura 21. Vivienda simulada en DIALux 46
Figura 22. Primera planta de la vivienda 47

Figura 23. Segunda planta de la vivienda 47

Figura 24. Gráfica comparativa de energía consumida de cada tipo de luminaria 50

Figura 25. Gastos de Instalación de luminarias en la vivienda por tipo de tecnología 51

Figura 26. Gráfica comparativa de Costo total de equipos para un tiempo de 60000 horas .. 53

Figura 27. Gráfica comparativa de costos total por tipo de tecnología para un tiempo de 60000 horas 54

Introducción

Las personas dependen de la iluminación para realizar sus diversas actividades, eso ha llevado a la necesidad de una creación de iluminación artificial. Que en su primer momento fue el fuego, después cambio a vela, lámpara de combustión y luego en su momento la iluminación artificial que usaba la electricidad como fuente de energía. Gualdrón & Rico Blanco (2011).

Han pasado 140 años aproximadamente desde que se patento la primera bombilla incandescente con filamento de carbono, que solo tenía un tiempo de uso de 40 horas aproximadamente. Esta patente dio inicio al surgimiento de diversas tecnologías de iluminación. Con el transcurso del tiempo, han ido y van apareciendo nuevas tecnologías de iluminarias con la finalidad de tener una mayor duración, mayor eficiencia en aprovechamiento de energía eléctrica y mayor ahorro económico. Martínez de la Cruz (2017).

Cada año, el consumo de energía eléctrica en iluminación va creciendo exponencialmente, debido a que las industrias crecen, la población se multiplica y por ende también la necesidad de ambientes iluminados. Creando nuevas opciones a tecnologías que buscan contribuir a la satisfacción de las personas, cuidando del medio ambiente, ahorro de dinero y recursos naturales.

El costo por energía eléctrica en iluminación domiciliaria en nuestro país representa un 19 % del recibo de cada mes (MEM: Iluminación representa el 19% de la facturación eléctrica en el hogar, 2016). Por ello en este presente estudio se busca definir la tecnología más conveniente en este sector. Tendiendo a resolver las preguntas de: ¿Qué tecnología es la más adecuada para la iluminación domiciliaria? ¿Después de cuánto tiempo se vuelve rentable la inversión? ¿Teniendo en cuenta el impacto ambiental cual es la tecnología más adecuada?

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Capítulo 1

Estado del arte

1.1. Introducción

Este capítulo comprende el porqué del desarrollo del trabajo de investigación, presentando la problemática y justificación, así como los principales conceptos que deben tener en cuenta para presentar alternativas de solución adecuadas que satisfagan las necesidades de los usuarios desde los puntos de vista del rendimiento lumínico, el análisis económico y su potencial impacto ambiental.

1.2. Problema y justificación

La sostenibilidad es uno de los mayores desafíos hoy en día. El desarrollo sostenible ha dejado de ser un reclamo y se ha convertido en una responsabilidad de futuro, ya que somos los principales consumidores y contaminadores de la Tierra. Varias empresas de varios sectores, comercial, industrial, transporte, entre otros buscan mejorar sus procesos, eficiencias y rentabilidad en sus acciones para reducir gastos y generar el menor impacto ambiental. De hecho, en el año 2016, según el Balance Nacional de Energía del MEM, indicó que la energía total consumida por sectores fue del 26% para el sector residencial y comercial, 25% para el sector industria y minería, 2% para el sector agroindustria y agropecuario, y 45% para el sector transporte. Se estima que alrededor del 18-21% del consumo energético total corresponde a la iluminación, perteneciendo un 8% al sector residencial.

En junio del 2019, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, estima que la tasa de crecimiento poblacional anual en el Perú es del 1.8%, de modo que la creciente población se residirá en domicilios, aumentando la demanda energética para iluminar sus viviendas. Cabe resaltar que varía el costo de la energía eléctrica según el lugar donde se reside. Por lo tanto, un estudio en la iluminación juega un papel clave en la sostenibilidad energética y un ahorro económico para la población existente.

En este proyecto se pretende hacer un análisis económico de tecnologías de iluminación domiciliaria, en el que se evaluará las diferentes tecnologías de iluminación y se concluirá cuál de ellos será más conveniente, considerando factores, tanto de calidad como económicos, para su uso en el hogar.

Este análisis propuesto será una herramienta rápida que permitirá a las personas a tener una idea del tipo de iluminación conveniente para su hogar sin tener mucho conocimiento del tema.

1.3. Evolución de las tecnologías de iluminación

La más antigua fuente de luz que ha dispuesto la humanidad, y que percibe hasta ahora, es la luz diurna. Gracias a dicha fuente de luz, durante la edad de piedra, la especie humana pudo crear nuevas herramientas y técnicas culturales que llegaron a descubrir el fuego, la segunda fuente de luz que percibió la humanidad. Con el dominio del fuego, crearon las antorchas y después, las velas hechas de cera y otros materiales, permitiéndoles iluminar los espacios donde habitaban en la oscuridad de la noche.

En la época prehistórica, el máximo escalón en el progreso luminotécnico fue la creación de la lámpara de aceite, siendo fácilmente sustituidas en 1790 por las lámparas de gas, el cual fue un indicador de la modernidad de esa época.

Con la llegada de la electricidad, a finales de 1879, se inventa la bombilla de luz incandescente gracias al norteamericano Thomas Alba Edison, el cual se convirtió en la iluminación estándar interior y exterior.

A inicios del siglo XX, se desarrolló la primera bombilla de vapor de mercurio, que fue la precursora de la luminaria fluorescente, reemplazando las bombillas de luz incandescente, debido a que son más eficientes, menos contaminantes y aprovechan mejor la infraestructura ya existente.

La revolución en las tecnologías de iluminación sucedió con la llegada de las luminarias LED debido a sus cualidades, pues tienen un gran retorno de inversión, una mayor durabilidad que es 2 a 4 veces más larga que las anteriores, produciendo luz intensa de alta calidad, menos contaminantes, más eficientes y de bajo consumo energético, logrando ver un verdadero cambio en la facturación eléctrica. Cabe resaltar que la tecnología LED sigue desarrollándose y mejorándose continuamente. Se espera que el luminario LED inteligente, con ayuda de Internet of things (IoT) sea el futuro de la iluminación de todos los hogares del mundo.

1.4. Conceptos básicos de iluminación

Una buena iluminación mejora la productividad de las personas, su salud, comodidad y rendimiento, es decir, mejora su calidad de vida; pero no todo tipo de iluminación es adecuada o beneficiosa para el usuario, por ello es importante profundizar en los conceptos de qué es la luz; sus principales características y magnitudes; y las partes fundamentales de una fuente de luminosidad, para ello se recurre a la luminotecnia que es la ciencia que estudia las distintas formas de luz artificial.

1.4.1. La luz

La luz son ondas electromagnéticas que propagan la energía en forma de radiación producida por oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos, que se distribuye en función a la frecuencia de vibración de dichas ondas.

Las características fundamentales de las ondas quedan definidas por los siguientes parámetros, Blasco, P.:

- Longitud de Onda (λ)
- Frecuencia (f), espectro de frecuencias
- Velocidad de propagación (v)

Físicamente, la luz se produce cuando un átomo es expuesto a radiación externa, la cual hace que algunos electrones tengan la suficiente energía para saltar de nivel, en un proceso llamado absorción. El átomo queda en estado no estable, y pronto decae a un nivel inferior, liberando energía en forma de radiación electromagnética, a la cual se le denomina fotón.

Esta radiación se puede encontrar en una gran variedad de frecuencias y longitudes de onda. Si la longitud de onda se encuentra en el rango de 380 – 780 nm, se dice que se encuentra en el espectro visible, único rango que el ojo humano puede percibir.

Existen también otros espectros electromagnéticos con longitudes de onda menores o mayores al espectro visible, como es el caso de los rayos ultravioletas, rayos x, infrarrojo, ondas de radar, entre otras. Como este trabajo se basa en un estudio de iluminación para viviendas, nos vamos a concentrar únicamente en el espectro visible.

"La luz visible irradiada por el sol nos permite trabajar cómodamente y es la que preferentemente se deberá usar como primera fuente de iluminación, la iluminación artificial se usa en caso la luz natural no sea suficiente para la labor que se está desarrollando y para la elección de la iluminación artificial se debe siempre considerar el tipo de luminaria en función a la labor para la cual se quiere iluminar". Huamán, J. (2017).

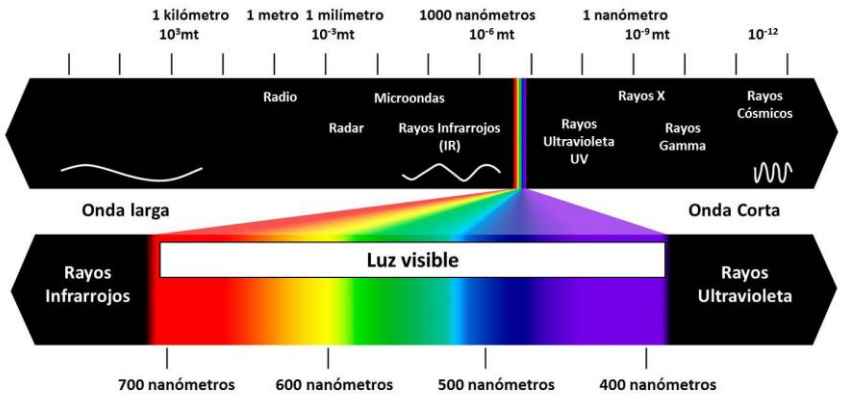


Figura 1. Espectro solar

Fuente: Rodríguez, F.

1.4.2. Principales magnitudes

Es necesario tener en cuenta las magnitudes fundamentales de luminotecnia para realizar una buena comparación objetiva de las diferentes tecnologías de iluminación.

La luz, al ser una forma de energía, debería medirse en Joules (J), no obstante, no toda la energía que se consume se convierte en luz y, a su vez, no toda la luz emitida llega al ojo y produce una sensación luminosa. Por ello, se necesitaron nuevas magnitudes que permitan cuantificar la iluminación producida por una fuente de luz.

Las magnitudes luminosas o también llamadas magnitudes fotométricas se relacionan con uno de los dos elementos fundamentales: la fuente de luz y la luz percibida.

Figura 2. Principales magnitudes de Luminotecnia.

Fuente: Belén et al.

- Flujo o Potencia Luminosa (Φ)
  El Flujo Luminoso es la cantidad de luz emitida por una fuente de luz, dentro del especto visible, en un segundo y en todas las direcciones. La unidad de medida del Flujo Luminoso (Φ) es el Lumen (lm).
- Intensidad Luminosa (I)
  La Intensidad Luminosa de una fuente de luz es igual al flujo luminoso emitido en una determinada dirección y contenido en un ángulo sólido cualquiera, expresado en estereorradianes (ω). La unidad de medida de Intensidad Luminosa (I) es la candela (cd).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \ [cd]$$

La distribución espacial de la intensidad luminosa de una fuente de luz da una superficie de distribución tridimensional como gráfica, produciendo a su vez la curva de distribución de intensidad luminosa en un plano que pasa por eje de la fuente luminosa. Ganslandt & Hofmann (2009). Para poder comparar directamente la intensidad luminosa de diferentes fuentes de luz, se evalúan sus curvas de distribución o también conocidas como curvas fotométricas, referidas a un flujo luminoso emitido a 1000 lm.

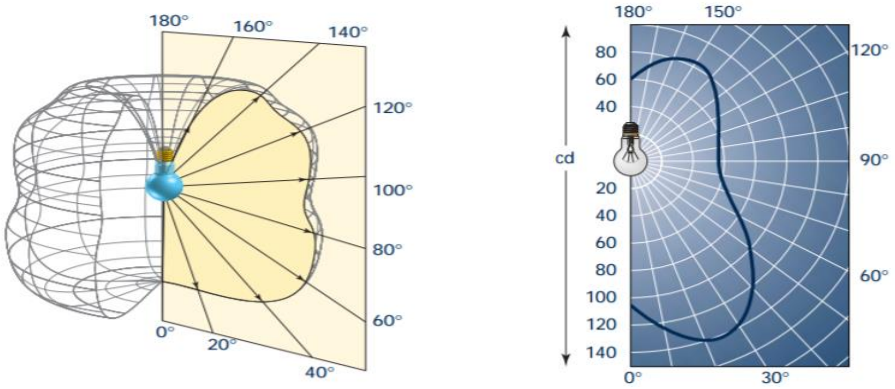


Figura 3. Curva fotométrica de una lámpara incandescente.

Fuente: Luminotecnia INDALUX (2002)

"Otro método de representación de la distribución de flujo luminoso es el diagrama de curvas isocandelas el cual consiste en imaginar la luminaria en el centro de una esfera en cuya superficie exterior se unen por una línea los puntos de igual intensidad". Blasco, P.

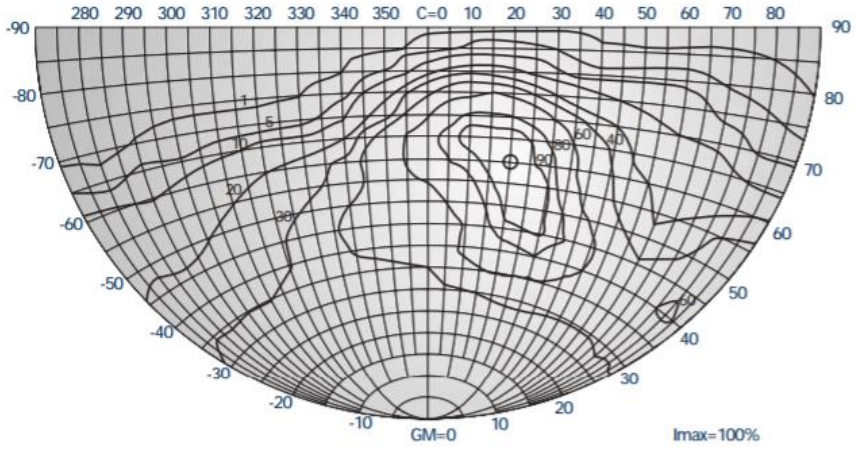


Figura 4. Curvas Isocandelas

Fuente: Luminotecnia INDALUX (2002)

- Iluminancia (E)

  La iluminancia o nivel de iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. La unidad de medida de la Iluminancia (E) es el lux (lx).

$$E = \frac{\Phi}{S} (lx = lm/m^2)$$

  Se considera que, a mayor iluminancia, mayor es el flujo luminoso incidente sobre la superficie, este parámetro es primordial para la iluminación de interiores. Para mejorar la iluminancia de un área establecida, se requiere aumentar el flujo luminoso

de la fuente o bien disminuir la superficie; es decir, aumentar el número de fuentes de luz.

La Iluminancia es la principal medida usada por las normas de iluminación, que establecen el nivel de iluminación adecuado en función de la actividad desarrollada:

- Reglamento Nacional de Edificaciones
- Código Nacional de Electricidad

El luxómetro es el dispositivo digital usado para medir el nivel de iluminación, el cual consta de una célula fotoeléctrica que, al incidir luz sobre su superficie, genera una corriente eléctrica del orden los miliamperios, que aumenta en función de la luz incidente.

- Luminancia (L)

  La luminancia es el efecto de la luminosidad sobre una superficie en la retina del ojo, tanto de una fuente luminosa como de un objeto iluminado o superficie que refleja la luz. La luminancia de una superficie iluminada es el cociente entre la intensidad luminosa (I) de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie proyectada sobre la superficie.

$$L = \frac{I}{S * \cos(\beta)} \left(\frac{cd}{m^2}\right)$$

  Este término ha sustituido a los conceptos de del color y densidad de iluminación, aunque como concepto nos interesa recordar que el ojo no ve colores sino brillo. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancia. Se puede decir por lo tanto que el ojo ve diferencias de luminancias y no de iluminación. Luminotecnia INDALUX (2002).

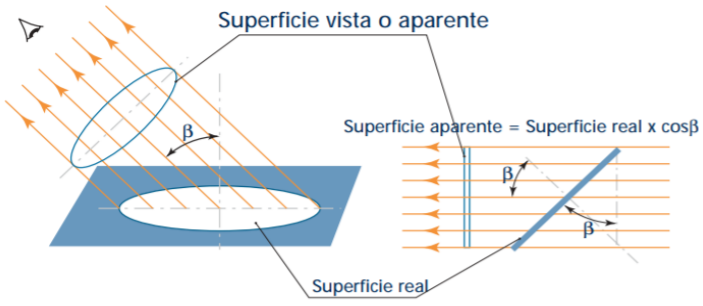


Figura 5. Luminancia de una superficie

Fuente: Luminotecnia INDALUX (2002)

- Energía Luminosa (Q)

  De forma análoga a la energía eléctrica que se determina por la potencia eléctrica en la unidad de tiempo, la cantidad de luz o energía eléctrica se determina por la

potencia o flujo luminoso emitido por una fuente en la unidad de tiempo. Su unidad es el lumen por hora (lm*h).

$$Q = \Phi * t\ (lm * h)$$

- Rendimiento Luminoso (η)

  El rendimiento o eficacia luminosos de una fuente de luz, indica el flujo luminoso que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica obtenida para su obtención. Este valor nos permitirá poder comparar la eficiencia eléctrica de las distintas tecnologías de iluminación para su posterior análisis. El rendimiento luminoso se expresa mediante la relación del flujo luminoso (lm) y la potencia empleada (W).

$$\eta = \frac{\Phi}{P}\left(\frac{lm}{W}\right)$$

1.4.3. Lámparas

Una lámpara es una fuente de luz artificial, y se distinguen en dos grandes grupos según las causas que la provoquen. Si la causa se debe exclusivamente a la temperatura de un cuerpo radiante se le conoce como termorradiación, en todos los demás casos luminiscencia.

- Termorradiación

  Es producida por la radiación (calor y luz) emitida por un cuerpo radiante. El cuerpo, además de luz, produce una radiación térmica proporcional a la luz emitida por el mismo. Este es el caso de los focos incandescente.

- Luminiscencia

  Se le denomina luminiscencia a cuya causa no es propia de la temperatura del cuerpo que emite luminosidad. Se caracteriza por ser producida por movimiento de partículas, principalmente electrones, los cuales, como se explicó anteriormente, pueden producir radiaciones electromagnéticas.

  Dependiendo del método de excitación de los electrones, se distinguen varias clases de luminiscencia:

Tabla 1. Clasificación de luminiscencia según su origen

Tipo de Luminiscencia	**Ejemplo**
Descarga eléctrica en el seno de un gas	Focos ahorradores
Descarga eléctrica a alta tensión entre electrodos fríos (tubos de gas nobles)	Luces de neón, argón
Descarga eléctrica a baja tensión entre electrodos calientes (lámparas de vapor metálico)	Lámparas de vapor de mercurio y sodio
Fotoluminiscencia	Lámparas Fluorescentes

Fosforescencia	Señales de emergencia
Electro-luminancia	Focos LED
Inyecto-luminiscencia	Focos LED
Radioluminiscencia	Uranio y sus isotopos
Bioluminiscencia	Algas marinas, luciérnagas

Fuente: Elaboración propia

Para la buena selección de una lámpara se debe tener en cuenta ciertas condiciones de funcionamiento, de las cuales se van a comentar las principales:

- Rango espectral de la radicación: Se busca que toda la energía absorbida por una lámpara se transforme en radiación electromagnética, además también su luz debería ser lo más blanca posible, lo más semejante a la luz del día, cuya zona es alrededor de los 555 nm.
- Luminancia: Dependiendo de la aplicación se elige el valor de luminancia, pero también se busca que se mantenga en los límites soportables, ni muy tenue, ni muy deslumbrante para el usuario. Se usan luminarias en las lámparas con el fin controlar la luminancia, las cuales se analizarán después.
- Distribución de la intensidad luminosa: Las curvas fotométricas son esenciales para dimensionar las instalaciones de alumbrado, para que la luz llegue a los puntos de mayor necesidad.
- Efecto biológico de la radiación emitida: Es necesario que las lámparas no emitan ningún tipo de radiación que pueda resultar dañina para el usuario, previniendo que la longitud de onda no se encuentre en el rango de la luz ultravioleta, la cual puede producir daños a la vista, quemaduras, etc.
- Rendimiento luminoso: Se debe buscar según la aplicación la lámpara que presente el mejor rendimiento luminoso, este parámetro influye mucho en el tema económico de la iluminación.
- Vida media y útil: La vida media es un concepto estadístico, mientras que la vida útil es una magnitud experimental, expresada en horas, a las cuales el flujo luminoso ha descendido a un determinado valor, tal que, la lámpara ya no es rentable aunque cumpla las condiciones de funcionamiento.
- Repercusiones en la red de alimentación: El funcionamiento de las lámparas no debe tener una repercusión importante en la red de alimentación, para el caso de las lámparas incandescentes, solo se genera una sobreintensidad al momento del encendido. Por el contrario, las lámparas por descarga eléctrica (fluorescentes, focos

ahorradores, etc.) al contar con una parte inductiva, generan una carga para la red y debe ser compensado.

1.4.4. Luminarias

En todos los dispositivos de iluminación actuales, sean focos incandescentes, fluorescentes, led, etc., se pueden distinguir dos partes fundamentales, la lámpara o fuente de luz y la luminaria.

Según el manual: Luminotecnia INDALUX (2002), se define luminaria como el aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y protección de lámparas, y en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red el alimentador.

Ambos conceptos son necesarios para una adecuada radiación luminosa de origen eléctrico, buscando siempre un equilibrio entre un buen diseño y el aspecto económico. Los principales elementos de una luminaria son los siguientes:

- Armadura o carcasa: Sirve de soporte y protección de agentes externos. Delimita el volumen de la luminaria.
- Equipo eléctrico: Varía dependiendo de los distintos tipos de lámparas: Pueden ser simples (Incandescentes); transformador o fuente electrónica (Lámparas Halógenas); con balastos o reactancias (fluorescentes y de descarga).
- Reflectores: Le dan al flujo luminoso de la lámpara la forma y dirección deseada. Pueden ser simétrico o asimétrico, concentrador o difusor, especular o no especular y frio o normal.
- Difusores: Se usa para evitar el deslumbramiento y difundir el haz de luz.
- Filtros: Sirve para mitigar o potenciar determinadas características de la radiación luminosa de la lámpara.

El tipo de luminaria va a depender también del tipo de aplicación, según:

- Grado de protección eléctrica: Depende del grado de aislamiento eléctrico de la luminaria.
- Condiciones de operación: Clasificados según el sistema IP de acuerdo con el grado de protección contra cuerpos extraños, polvo y humedad.
- Grado de inflamabilidad de la superficie de montaje: La temperatura de funcionamiento y la inflamabilidad de la zona determinan el grado de inflamabilidad necesario que debe cumplir la luminaria.
- Condiciones de servicio: Dependerá del tipo de aplicación (interior, exterior, iluminación pública, iluminación por proyección)

Otro valor importante de las luminarias es su eficiencia, la cual esta expresada como la porción de salida de luz de la luminaria con respecto de la salida individual de la lámpara

cuando no tiene luminaria, a este valor se le conoce como Índice de Salida de Luz (*Light Output Radio* - I.o.r).

1.5. Tipos de tecnologías de iluminación

Hoy en día existen diversas tecnologías de iluminación en los mercados. En el presente trabajo de investigación se evaluarán las siguientes tecnologías: incandescentes, fluorescente con balastro electrónico, ahorradores y led; a fin de entender su funcionamiento y describir sus componentes antes del análisis económico respectivo.

1.5.1. Incandescente

Se denomina lámpara incandescente, bombilla, lámpara o bombita de luz al tipo de tecnología de iluminación que emite luz por el calentamiento de un filamento metálico mediante efecto Joule, por el paso de corriente eléctrica. EcuRed (2011).

Este concepto principal de funcionamiento no ha cambiado a lo largo de los años, sin embargo, si han ido mejorando para aumentar la cantidad de luz producida y la duración de las lámparas, Álvarez (2015). Se popularizó por su bajo precio y color cálido de su luz. CONSTRUMÁTICA.

En la figura 6 se observan los componentes principales de una lámpara led, Kushwaka (2011):

- Envoltura, ampolla de vidrio o bulbo
- Gas inerte
- Filamento de Wolframio o Tungsteno
- Hilo de contacto (va al pie)
- Hilo de contacto (va a la base)
- Alambre(s) de sujeción y disipación de calor del filamento
- Conducto de refrigeración y soporte interno del filamento
- Base del conductor
- Casquillo metálico
- Aislamiento eléctrico
- Pie de contacto eléctrico

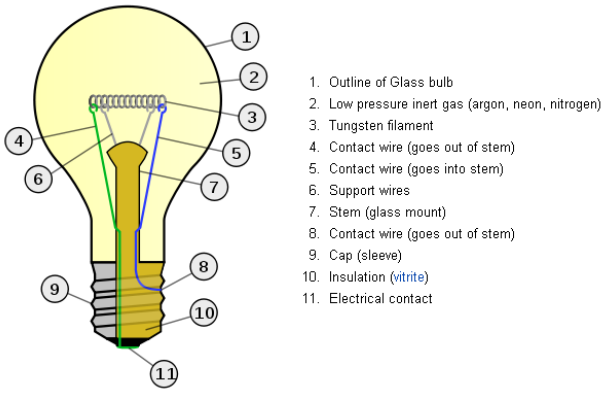


Figura 6. Partes de una lámpara incandescente

Fuente: Kushwaka (2011)

Su funcionamiento es el siguiente, Álvarez (2015):

- En las lámparas incandescentes de hace pasar corriente por un cable muy fino. Al tener una sección de paso muy pequeña la fricción entre las cargas aumenta provocando un incremento de temperatura llegando a valores mayores o igual a 2500°C. Al llegar a temperaturas tan altas, comienza a producirse el fenómeno de la incandescencia que es cuando los electrones que fluyen por el filamento de Wolframio o Tungsteno comienzan a emitir fotones de luz blanca visible.
- La gran excitación que se produce en el filamento de la lámpara provoca que algunos de los electrones de este metal pasen ocupar niveles superiores de energía, es decir, que salgan despedidos de su propia órbita. Sin embargo, estos vuelven a ocupar su posición original casi de inmediato por la gran atracción que ejerce el núcleo del átomo sobre sus electrones para impedir que abandonen sus órbitas. Al pasar de un nivel de mayor energía a uno de menor emiten fotones de luz visible como parte de la disipación de la energía que adquirieron.
- Por otra parte, el excesivo calentamiento de las lámparas incandescentes cuando se encuentran en funcionamiento se debe a la fricción que se produce en el filamento por el paso de las cargas eléctricas.

Se puede decir que es una tecnología poco eficiente, pues emiten radiaciones infrarrojas en forma de calor junto con las radiaciones de luz visible, Álvarez (2015). Solo alrededor del 15% de la energía consumida se convierte en luz visible, otro 25% en energía calorífica y el restante en ondas no perceptibles (luz ultravioleta e infrarroja) (CONSTRUMÁTICA).

1.5.2. Fluorescente con balasto electrónico

Francis Hawksbee un científico inglés del siglo XVIII, descubrió que con una pequeña cantidad de mercurio dentro de un cristal generador de *Von Guericke* y al mismo tiempo evacuar aire que gire rápidamente, se producía un fenómeno que emana luz brillante del interior del cristal. En el sigo XIX el físico George Stokes acuño el término fluorescencia luego de apreciar un fenómeno ocurrido principalmente por el compuesto fluorita, pero no fue hasta 1859 que el físico Alexander Edmond describió una lámpara fluorescente como un tubo de vidrio que contenía compuestos fluorescentes y además otros gases. Miranda Mejía, Martínez Góme, & Hernández Miranda (2014).

Los fenómenos que son necesarios para que la lámpara produzca una luz blanca con un espectro visible para el ojo humano se muestran en la figura 7.

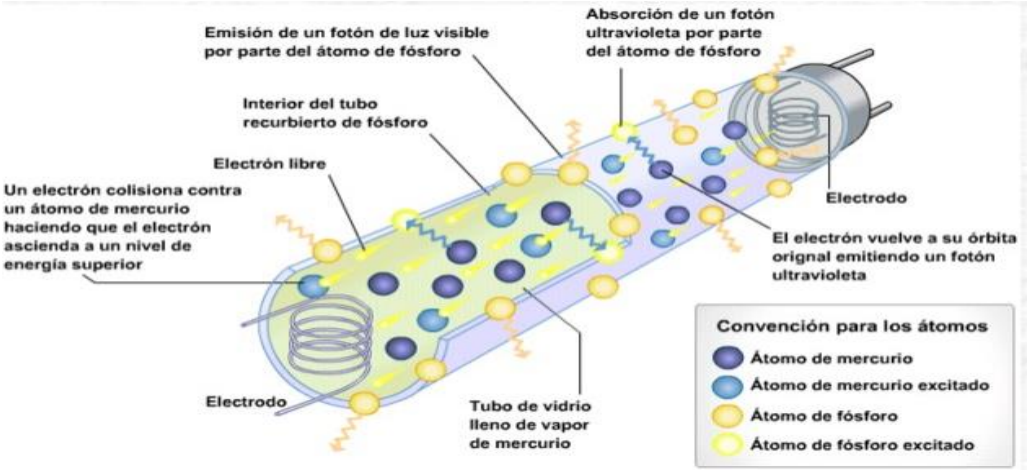


Figura 7. Fenómenos ocurridos en el interior de un tubo fluorescente

Fuente: Muñoz (2008)

Su funcionamiento es el siguiente, Miranda Mejía, Martínez Góme, & Hernández Miranda (2014):

> Se conecta la lámpara al circuito destinado a luminarias de la instalación, una vez conectado la corriente ingresada atraviesa los cátodos que se calientan y emiten electrones los cuales son susceptibles al movimiento. En los extremos del tubo se encuentran los cátodos de wolframio recubiertos de una pasta emisora de electrones, estos pasan de un cátodo a otro generando un calor que evapora rápidamente el mercurio y argón que en ese estado se mezclan, mientras los electrones pasan de un cátodo a otro colisionan con los átomos de mercurio dando paso a una emisión de radiación ultravioleta que se encarga de excitar la sustancia fluorescente alojada en el interior del tubo convirtiéndose en luz visible.

Una de las desventajas principales de las lámparas fluorescentes es que cuando su vida útil termina pasan a ser residuos peligrosos debido al mercurio que contienen.

1.5.3. Focos ahorradores

Fueron creados en 1976, por el ingeniero estadounidense Edward Hammer como alternativa a las tecnologías de iluminación existentes hasta ese entonces. Su funcionamiento es similar al de sus predecesores los tubos fluorescentes convencionales, los cuales difieren principalmente con la frecuencia de funcionamiento. Los focos ahorradores integran un circuito electrónico que produce la alta frecuencia necesaria para su funcionamiento, este circuito no es necesario para los tubos fluorescentes tradicionales pues ellos trabajan con la frecuencia que llega de la red. Acomme.

En la figura se observa las 5 componentes principales de los focos ahorradores Acomme.

- Base: Consta de un casquillo con rosca con el cual se acoplará el foco en la boquilla

- Base balastro: Compartimiento donde se aloja el balastro electrónico y lo protege del medio ambiente.
- Balastro electrónico: Componente principal que se encargada de distribuir inteligentemente el flujo electrónico.
- Filamentos: Encargados de ionizar el gas inerte dentro del tubo fluorescente
- Tubo fluorescente: Contiene el gas inerte y es donde ser vierte la radiación ultravioleta para generar mayor iluminación.

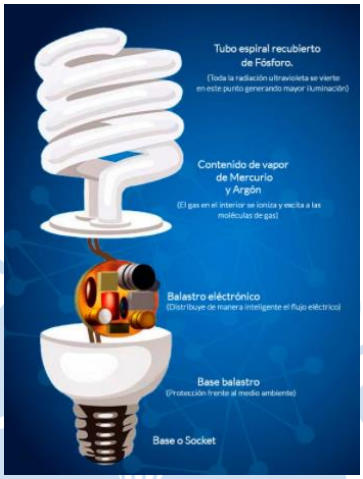


Figura 8. Partes del foco ahorrador

Fuente: Lumikon (2017)

Su funcionamiento es el siguiente (Acomme):

- La corriente alterna domiciliaria llega a la balastra electrónico, este componente es el encargado de controlar el flujo de electricidad que debe ser dirigido hacia los filamentos, su primera función es rectificar la corriente para convertirla en corriente DC, posteriormente esta señal rectificada pasa por un circuito oscilador alcanzando una frecuencia de entre 20 y 60 kHz
- Al llegar la corriente a la balastra se genera una chispa la cual da paso al encendido de un arco eléctrico entre los filamentos, los cuales se apagan y se convierten en electrodos para mantener dicho arco eléctrico durante el periodo que la lámpara este encendida. Los filamentos encendidos producen el calor necesario para ionizar el gas inerte, esta ionización se mantendrá gracias al arco eléctrico generado.
- Los iones desprendidos del gas inerte colisionan contra los átomos de vapor de mercurio encontrados en el tubo, dando paso a una excitación de los átomos de vapor de mercurio que se encargara de emitir fotones de luz ultravioleta en varias direcciones colisionando estas con las paredes del tubo recubierta de una capa fluorescente, todo este proceso produce fotones de luz blanca con un espectro visible para el ojo humano.

Un foco ahorrador de 15 Watts produce la misma cantidad de lúmenes que una lámpara incandescente de 60 Watts, esto quiere decir que los focos ahorradores consumen un 75% menos de electricidad que una lámpara incandescente. Lumikon (2017).

1.5.4. Focos LED

Los LED (light-emitting diode) o diodo emisor de luz es un componente del tipo bipolar, es decir, tiene un terminal llamado ánodo y otro llamado cátodo. Si es que se le polariza de forma correcta es capaz de emitir fotones sin producir calor. Estos LED se encierran en un material plástico que ayuda a acentuar la longitud de onda generada por el diodo y a enfocar la luz en un haz (MecatrónicaLATAM).

En la figura 9 se observan los componentes principales de un diodo led (MecatrónicaLATAM):

1) Encapsulado de resina epoxy
2) Diodo semiconductor emisor de luz
3) Copa reflectora o cavidad reflectante
4) Yunque
5) Poste
6) Base
7) Base plana
8) Terminal de conexión (negativo o cátodo)
9) Terminal de conexión (positivo o ánodo)
10) Cable de unión o bigote (alambre muy fino)

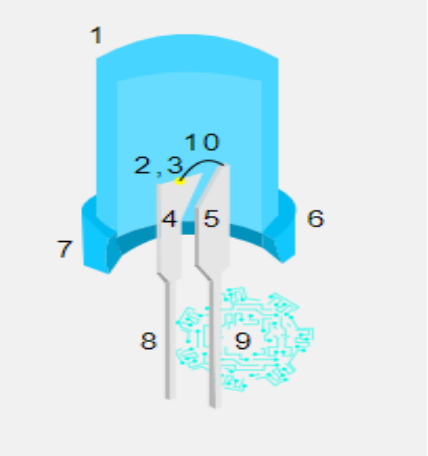


Figura 9. Partes de un diodo led

Fuente: MecatrónicaLATAM

Su funcionamiento es el siguiente, Álvarez, AsíFunciona (2015):

- Al ser un diodo está formado por dos semiconductores dopados: uno tipo N (negativo) y otro tipo P (positivo) que tienen la propiedad de que al ser polarizados de forma correcta emiten fotones de luz. Estos semiconductores se unen por un hilo muy fino

que da la apariencia de fragilidad, lo cual no es así ya que se encuentra incrustado dentro del epoxy y no tiene que ponerse incandescente (Déleg).

- Al polarizar directamente el diodo LED, es decir, aplicar tensión en los extremos, los electrones provenientes de la fuente de corriente directa comienzan a moverse a través del diodo. Cada vez que un electrón de carga negativa supera el potencial de barrera, cantidad de energía necesaria para el desplazamiento de los electrones, y se combina con un hueco de la región positiva libera la energía en exceso que había adquirido.
- Dicha energía se transforma en energía electromagnética que en ese instante libera un fotón de luz. Para aumentar la intensidad de luz emitida se deberá incrementar la tensión de encendido.

El color de la luz emitida por los fotones de un LED corresponde a una determinada frecuencia del espectro electromagnético que depende del material del que este compuesto el chip semiconductor. Este espectro electromagnético correspondiente al color puede ser a su vez visible o no visible para el ojo humano, ya que existen LEDs que pueden emitir rayos infrarrojos “IR” y ultravioletas “UV”, Álvarez, AsíFunciona (2015).

Los diferentes materiales de la fabricación del LED son:

Tabla 2. Diferentes materiales de fabricación del LED junto con su longitud de onda y luz emitida.

Frecuencia	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

Fuente: Lago (2015)

Para poder obtener luz blanca se usa un LED azul recubierto con una sustancia fosforescente que absorbe parte de la luz azul y la reemite con longitudes de onda mayores, la mezcla de fotones que sale del dispositivo da como resultado luz blanca, la cual puede ser fría o caliente dependiendo de qué tipo de fotones dominan.

La forma en que se construye el ánodo y el cátodo determina el tipo de encapsulado. Se distingue entre los DIP (*Dual in Line Package*), los SMD (*Surface Mounted Device*), COB (*Chip on Board*) y MCOB (*Multiple Chips On Board*), Lago (2015):

- Los diodos tipo DIP son los típicos LEDs de 5mm con dos “patillas” largas. Son sencillos, de baja eficiencia y no se pueden encontrar en potencias altas debido a que destruiría su capsula envolvente.
- Los tipos SMD suelen ser cuadrados y planos. Este tipo de LEDs logró aumentar de forma importante sus utilizaciones, pudiendo combinar con gran precisión los LEDs en un circuito integrado.
- Los COB LED pueden tener múltiples diodos en el mismo chip, simplificando su construcción y número de contactos ya que se tiene un solo circuito. Solían ser de menos rendimiento que los SMD, pero al pasar de los años se han ido mejorando e

imponiendo en muchas aplicaciones de iluminación general. Funcionan con un solo lente, recubierto con una capa de fosforo, para el conjunto de diodos y se comporta como un único emisor de luz, normalmente monocromática.

- Los MCOB es la unión de varios COB en una placa o carcasa, para conseguir un mayor flujo luminoso Últimamente están experimentando un gran auge para aplicaciones de iluminación.

En lo que corresponde a esta investigación se tendrán en cuenta en particular las lámparas LED, las cuales corresponderían al tipo de encapsulado MCOB, aunque también pueden ser múltiples SMD. En la figura 10 se puede apreciar los múltiples en un PCB. Almacén (2015).

Figura 10. Muestra de múltiples chips en un PCB.

Fuente: Almacén (2015)

Las partes de este tipo de LED son, Almacén (2015):

- Difusor: ayuda a direccionar la luz con mayor o menor ángulo. Suele ser de plástico con forma de globo o de lente.
- Disipador: ayudan a disipar el calor generados por los chips para aumentar la vida útil de la lámpara.
- Casquillo: en su interior contiene los drivers. Es la parte que encaja con el contacto eléctrico. Existen de diferentes tipos como lo pueden ser: casquillos Gu10, casquillo Mr16, casquillos E27, entre otros; por lo que no necesariamente debe ser un casquillo enroscaste, Almacén (2015).
- Chips: son los encargados de convertir la electricidad en luz. Suelen ser del tipo SMD y COB.
- Drivers: son los encargados de convertir la corriente alterna a continua adaptando los rangos de tensiones.

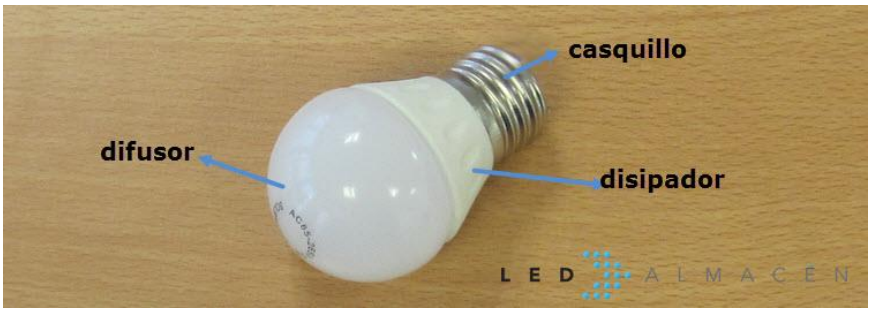


Figura 11. Elementos externos de una lámpara LED

Fuente: Almacén (2015)

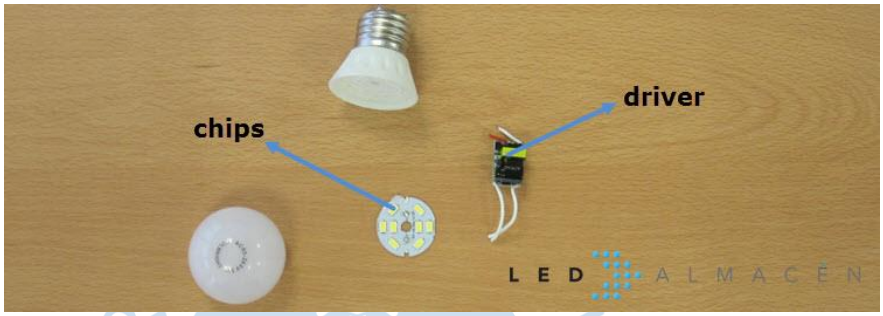


Figura 12. Elementos internos de una lámpara LED

Fuente: Almacén (2015)

Las ventajas de usar este tipo de tecnología lo explican en (Scopacasa):

- Mayor vida útil: dependiendo de la aplicación, la vida útil del equipo es larga sin necesidad de intercambiar.
- Costos de mantenimiento reducidos: Por su larga vida útil el mantenimiento es mucho menor, representando bajos costos.
- Eficiencia: son más eficientes que las lámparas incandescentes y halógenas y, hoy en día, muy cerca de la eficiencia fluorescente.
- Voltaje de funcionamiento bajo: no representa un peligro para el instalador.
- Resistencia a impactos y vibraciones: utiliza tecnología de estado sólido, sin filamentos, vasos, etc., aumentando su robustez.
- Control de color dinámico: con una utilización adecuada se puede ir variando el espectro de colores, incluyendo varios tonos de blanco, lo que permite un ajuste perfecto a la temperatura de color deseada.
- Control de intensidad variable: se puede hacer un ajuste preciso de la intensidad luminosa ya que su flujo de luz es variable en función de la variación de la corriente eléctrica aplicada.
- Ausencia de luz ultravioleta: no emite radiación ultravioleta siendo ideal para aplicaciones donde este tipo de radiación no es deseada.
- Ausencia de infrarrojos: tampoco emite radiaciones infrarrojas, provocando que el haz luminoso sea frio.

1.6. Normativa para iluminación de interiores

Existen reglamentos o normativas para las iluminarias artificiales, que tienen como finalidad, definir ciertos requisitos y características que deben cumplir, para el caso de estudio de iluminación domiciliaria en el país será la Normativa EM.010- INSTALACIONES ELÉCTRICAS INTERIORES.

Dicha normativa está tipificada en Código Nacional de Electricidad, definiendo las acometidas, sistemas de protección, alimentadores, tableros, circuitos derivados, sistemas de control, sistemas de medición, sistemas de registro, tableros, sub-tableros, subalimentadores y mínima iluminación de acuerdo con cada ambiente. Siendo obligatorio su cumplimiento, dando así una aceptable protección contra riesgos eléctricos y satisfacción de necesidades de iluminación. La norma no solo está definida para viviendas, también lo está para Locales industriales, Locales de espectáculos, Locales Hospitalarios, Locales Comerciales, Edificios de estacionamiento, entre otros. Quiroz (2019)

Para las instalaciones eléctricas de interiores, los proyectistas deben calcular la iluminación de acuerdo con la norma, que dependiendo de su uso tendrá un mínimo de iluminancia de servicio, cuyas unidades son los lux, dependiendo de la actividad a realizar en estos ambientes es que tienen mayor o menor límite mínimo permitido. Para el caso de iluminación domiciliaria la limitación antes mencionada esta especificada en la siguiente tabla.

Tabla 3. Fragmento de tabla de NORMA EM.010- INSTALACIONES ELÉCTRICAS INTERIORES que definen límites mínimos de iluminación en lux.

Ambientes	**Iluminancia en servicio (lux)**	**Calidad**
Áreas generales en edificios		
Pasillos, corredores	100	D-E
Baños	100	C-D
Almacenes en tiendas	100	D-E
Escaleras	150	C-D
Líneas de ensamblaje		
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
Tiendas		
Tiendas convencionales	300	B-C
Tiendas de autoservicio	500	B-C
Tiendas de exhibición	750	B-C
Edificios Públicos		
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
Viviendas		
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
Hoteles y restaurantes		
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
Subestaciones eléctricas al interior		
Alumbrado general	200	B-C
Alumbrado local	500	A-B
Alumbrado de emergencia	50	B-C

Fuente: Quiroz (2019)

En la Tabla 3 se especifica los lux mínimos que deben tener los ambientes a iluminar, además está definida la calidad que se debe instalar de acuerdo con la actividad realizada, la cual se especifica en la Tabla 4.

Tabla 4. Calidad según el 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.

Fuente: Quiroz (2019)

En el artículo 4° de la norma específica que los proyectos deben tener en cuenta un análisis de máxima demanda de potencia con la potencia instalada. Dicho análisis puede ser de dos formas: la primera es incluir los factores de demanda y simultaneidad considerando el consumo eléctrico por las cargas realmente instaladas. La segunda es incluir los factores de demanda que estipula el Código Nacional de Electricidad al igual que las cargas unitarias. Quiroz (2019).

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Capítulo 2

Metodologías, materiales y procedimientos

2.1. Estudio y comparación de la eficiencia de las tecnologías de iluminación

En la Figura 13 se observa una comparación de curvas de flujo luminoso en el tiempo de operación de uso, apreciándose que las lámparas de mercurio poseen un descenso más rápido que las otras tecnologías, llegando a un aproximado del 60% del flujo luminoso inicial, en un tiempo de 10 000 horas aproximadamente. La tecnología fluorescente y HPS son las segundas más rápidas en reducir su flujo luminoso, lo hacen en promedio de 25 000 horas. La tecnología led tiene un descenso de flujo luminoso mejor que los antes mencionados, ya que llega al 70 % después de 50 000 horas aproximadamente. Secue, Páez, Fonseca, & Muela, (2018).

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se puede afirmar que, para el mantenimiento de un sistema de iluminación, es más rentable usar la tecnología led, reduciendo costos.

En la Tabla 5, se muestra una comparación de tres tecnologías de iluminación, en referencia a la bombilla incandescente de 40 W, se considera un tiempo de uso de 1 000 h/año, con un coste de 0.15 € /kWh.

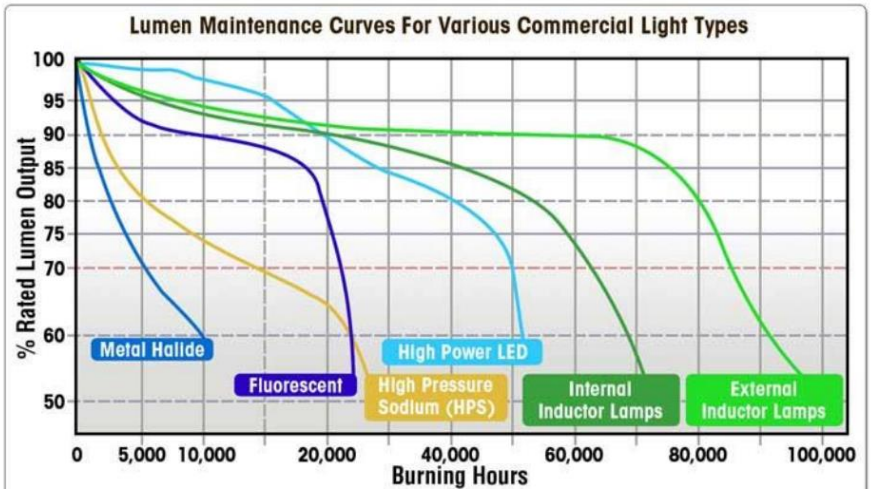


Figura 13. Curvas de mantenimiento en función de su flujo luminoso por tipo de tecnología de iluminación

Fuente: Secue (2018)

Tabla 5. Comparativa de tecnologías de iluminación más rentables que la incandescente

Comparativa entre las diferentes tecnologías			
	LED	**FLUORECENTE**	**HALÓGENA ECO**
Ahorro en 2 años	Ahorra 12 €	Ahorra 10 €	Ahorra 4 €
Vida útil	Cambiarás la bombilla entre 10 y 35 años	Cambiarás la bombilla entre 6 y 10 años	Cambiarás la bombilla cada 2 años
Rapidez de encendido	Instantánea	Puede ser lenta, rápida, muy rápida	Instantánea
	Recomendada para toda la casa. Ideal para continuos encendidos y apagados	Recomendada en lugares donde la luz está encendida mucho tiempo (salones, habitaciones)	Recomendada para toda la casa. Ideal para continuos encendidos y apagados

Fuente: Asociación de Ciencias Ambientales (ACA) (2019)

Para efectos de este trabajo se debe analizar lo que se puede encontrar en el mercado peruano, ya que si es que se buscara importar luminarias se aumentarían mucho los costos para proyectos de iluminación domiciliaria; es por ello por lo que se utilizaran luminarias que se encuentren en tiendas comerciales como lo son: Promart, Sodimac, entre otros. Los datos que se mostrarán a continuación corresponden a los datos obtenidos de la tienda "Promart" para las diferentes tecnologías de iluminación a estudiar, utilizando luminarias de marca Phillips, para mantener uniformidad en los precios.

Tabla 6. Iluminarias LED del mercado peruano

Nombre Comercial	**Precio**	**Potencia (W)**	**Lúmenes (lm)**	**Vida útil (h)**
Foco LED pack x3 E27 14W luz blanca	S/27.90	14	1521	10000
Foco LED Essential 14W E27 luz cálida	S/16.10	14	1521	10000
Foco LED Essential 9W E27 luz fría	S/11.90	9	950	10000

Foco LED Essential 12W E27 luz fría	S/16.10	12	1250	10000
Foco LED Essential 12W E27 luz cálida	S/15.90	12	1150	10000
Foco LED Essential 6W E27 luz fría	S/8.90	6	540	10000
Foco LED Scene Switch 3 intensidad E27 9.5W luz fría / cálida	S/25.90	9.5	806	15000
Foco LED Scene Switch 3 intensidad E27 9W luz cálida	S/31.90	9	800	15000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Focos ahorradores del mercado peruano

Nombre Comercial	Precio	Potencia (W)	Lúmenes (lm)	Vida útil (h)
Pack x3 Foco Ahorrador Twister 23W luz fría	S/23.90	23	1040	6000
Foco Ahorrador Espiral 32W E27 luz fría	S/25.90	32	2180	8000
Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 luz cálida	S/13.90	23	1380	4000
Foco Ahorrador Eco Twister 15W E27 luz cálida	S/11.90	15	840	6000
Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 luz blanca	S/13.90	23	1380	6000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Tubos fluorescentes del mercado peruano

Nombre Comercial	Precio	Potencia (W)	Lúmenes (lm)	Vida útil (h)
Tubo fluorescente súper 80 18W/865 G13 luz fría	S/6.90	18	1350	20000
Tubo fluorescente súper 80 36W/865 G13 luz fría	S/7.90	36	3350	20000
Tubo fluorescente TL5 28W/865 G5 luz fría	S/13.90	28	2600	20000
Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 luz fría	S/13.90	14	1260	20000
Tubo fluorescente TLD 36W/54-765 G13 luz fría	S/5.90	36	2500	13000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Focos incandescentes del mercado peruano

Nombre comercial	Precio	Potencia (W)	Lúmenes (lm)	Vida útil (h)
Foco Incandescente A55 100W E27 luz blanca	S/1.30	100	1240	1000
Foco Incandescente A55 60W E27 luz blanca	S/1.30	60	630	1000

Fuente: Elaboración propia

Para una mejor comparativa de los datos presentados anteriormente es conveniente sacar el promedio de vida útil y rendimiento luminoso de las tecnologías en general para saber qué tan beneficioso puede llegar a ser la implementación de una u otra. Debe recordarse que se conoce como rendimiento lumínico de una luminaria al flujo luminoso que emite una fuente por cada unidad de potencia eléctrica consumida.

Tabla 10. Rendimiento lumínico y vida útil promedio de cada tecnología de iluminación

	Rendimiento lumínico promedio (LM/W)	Vida útil promedio (H)
LED	98.32	10000
Ahorradores	57.87	6000
Fluorescente	84.06	20000
Incandescente	11.35	1000

Fuente: Elaboración propia

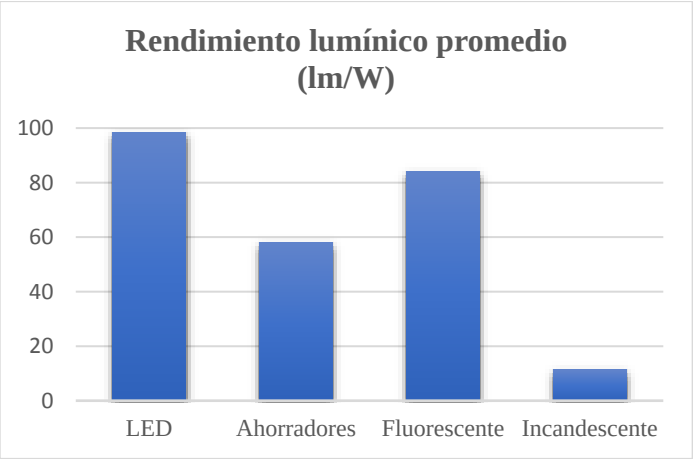


Figura 14. Gráfica de rendimiento lumínico promedio de cada tipo de luminaria

Fuente: Elaboración propia

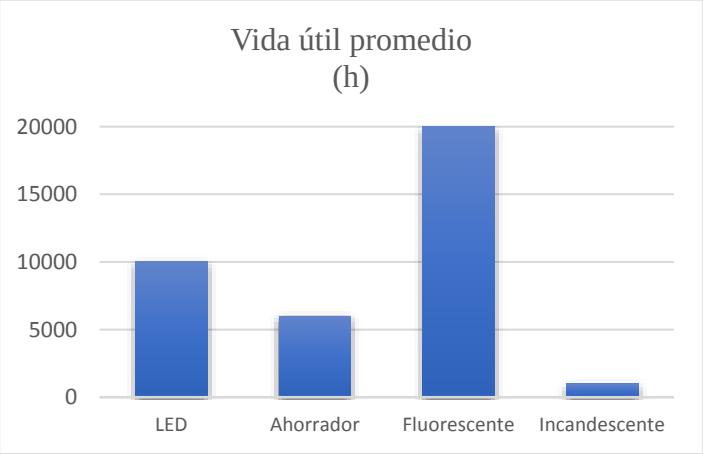


Figura 15. Gráfica de vida útil promedio de cada tipo de luminaria

Fuente: Elaboración propia

Analizando las gráficas mostradas, se podría afirmar que la tecnología incandescente es la menos eficiente para iluminar los domicilios por la alta potencia que requieren y el poco rendimiento lumínico que logran entregar, así como su baja vida útil. Por otra parte, hasta el momento no se podría saber con certeza cual sería la mejor tecnología de iluminación entre LED, ahorrador y fluorescente puesto que cada uno tiene sus puntos a favor y en contra, así como otros parámetros que se deben analizar (consumo, lúmenes, entre otros).

Es por eso por lo que la mejor forma de analizar la conveniencia de qué tecnología usar para la iluminación domiciliaria es necesario hacer simulaciones de una vivienda con las diferentes lámparas y realizar un análisis costo beneficio de cada una de ellas. El análisis costo beneficio es una herramienta financiera asociada a proyectos de inversión que mide la

relación existente entre costos y beneficios a largo plazo con el fin de conocer su rentabilidad. Siendo la rentabilidad la medida del rendimiento de la inversión en un determinado tiempo. Ceupe (2019).

2.2. Comparativa de las tecnologías de iluminación en cuanto a su impacto ambiental

En (Moreno, 2015) se muestra un gráfico resumen de los cálculos de una simulación del contenido de CO2 equivalente generado por cada tipo de tecnología de iluminación, la simulación fue realizada en el Software GaBi(r). Se puede apreciar que la luminaria incandescente puede llegar a producir aproximadamente 50 000 kg de CO_2 equivalente que es 30 y 147 veces más de lo que producen las luminaria fluorescente y LED respectivamente.

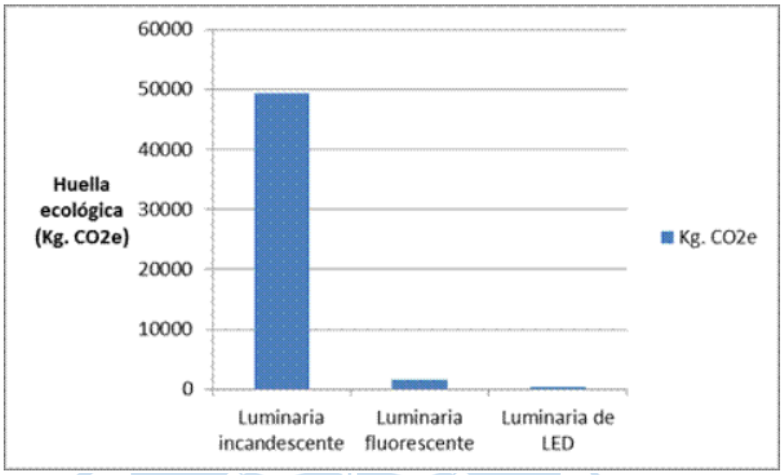


Figura 16. CO2e por luminaria

Fuente: Moreno (2015)

En (Ferreira de Souza, 2019) se evalúa el impacto de distintas tecnologías de iluminación mediante el Software Simapro 7.3 y el método EDP (Ecosystem Potencia Damage), el cual se encarga de evaluar los siguientes 6 índices:

- **Calentamiento global:** Índice que mide la contribución al calentamiento global debido a la emisión de sustancias a la atmósfera como los llamados gases de efecto invernadero como metano (CH_4) o dióxido de carbono (CO_2), este índice se expresa en kilogramos de CO_2 equivalente.
- **Agotamiento de la capa de ozono:** Índice relacionado con la producción y emisión de gases que pueden destruir la capa de ozono, la unidad es kilogramos de CFC-11 equivalente. CFC-11 indica cualquier gas de la familia de los clorofluorocarbonos.
- **Oxidación fotoquímica:** Índice concerniente a la formación de ozono al nivel del suelo, este gas es toxico para los seres humanos en altas concentraciones. La reacción de compuestos orgánicos volátiles y óxido de nitrógeno en presencia de calor y luz del sol forman ozono, esta categoría está relacionada con la niebla tóxica de verano y tiene unidades de C_2H_4 (etano) equivalente en kilogramos.

- **Acidificación:** Índice relativo a la acidificación del suelo y agua casado por la emisión de contaminantes acidificantes como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y amoniaco. Una vez instalados estos gases en la atmósfera reaccionan con el vapor de agua para formar ácidos que se depositan en la superficie a través de la lluvia o nieve, la lluvia ácida es conocida como un efecto común de acidificación, su unidad está representada en kilogramos de SO_2 (dióxido de azufre) equivalente.
- **Eutrofización:** Índice asociado con la reacción que sucede en un ecosistema con respecto a la carga excesiva de nutriente, un claro ejemplo es en un sistema acuático, la afluencia de efluentes ricos en fósforo y nitrógeno que se encargan de estimular el crecimiento de algas produciéndose así una degradación de la calidad del agua y mortalidad en las especies que habitan. Este índice es medido en kilogramos de fosfato (PO_4^{3-}) equivalente.
- **Consumo de energía no renovable:** Índice que representa el consumo de energía no renovable de origen fósil. Está expresado en unidades de energía: Mega Joules (MJ).

Para un mejor entendimiento el efecto de estos índices se dividió en 3 categorías que consideran sus distintas fases durante todo su ciclo de vida.

Fase de fabricación:

En la Figura 17 se muestra un histograma donde se expresa la contribución de las tecnologías de iluminación durante su fase de producción respecto a las categorías mencionadas anteriormente, se observa que las luminarias LED contribuyen más con los índices puesto que requieren más componentes en su funcionamiento; por debajo encontrándose las CFL donde están incluidos los fluorescentes y los focos ahorradores.

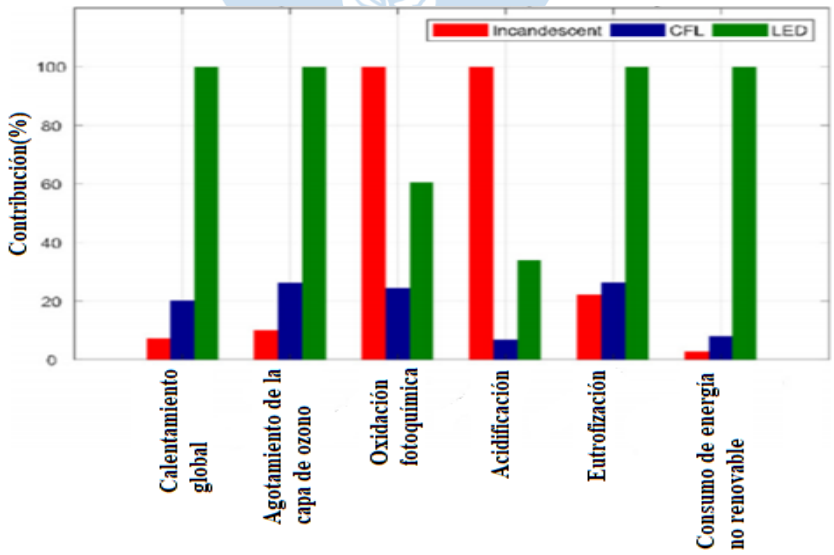


Figura 17. Impacto ambiental en fase de fabricación

Fuente: Ferreira de Souza (2019)

Fase de uso:

La figura 18 muestra el aporte de las tecnologías a la contaminación ambiental durante su uso, es notable la diferencia de la luminaria incandescente frente a las CFL y LED, esto se da debido a la baja eficiencia de estas que consumen más energía eléctrica por lumen producido, su impacto está directamente relacionado con la generación de la energía eléctrica que consumen, ya que esta generación conlleva una contaminación ambiental y desarrollo de gases de efecto invernadero.

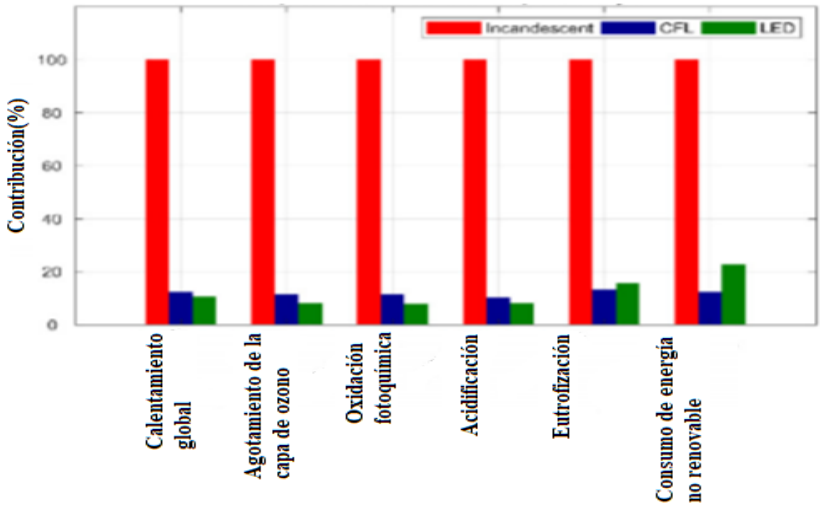


Figura 18. Impacto ambiental en fase de uso

Fuente: Ferreira de Souza (2019)

Fase de desecho:

En la figura 19 se da una muestra del impacto ambiental por eliminación de residuos, y se ve como la luminaria incandescente genera un mayor impacto negativo a pesas de que los CFL presenten componentes tóxicos y los LED trabajen con mayor número de componentes, esto se da debido a que las bombillas incandescentes desechadas siempre superaran al resto pues posee un menor ciclo de vida respecto a los CFL y LED, asimismo la presencia de mercurio en los CFL no se encuentra dentro de los índices mencionados, siendo necesario otro índice como la ecotoxicidad.

En la figura 19 se presenta un histograma general donde se aprecia la contribución de las 3 tecnologías de iluminación durante todo su ciclo de vida lo que envuelve su producción, transporte, uso y desecho. Se observa como la lámpara incandescente presenta un mayor impacto al medio ambiente, y en general las CFL y LED están muy parejas, siendo diferentes en el consumo energético y vida útil.

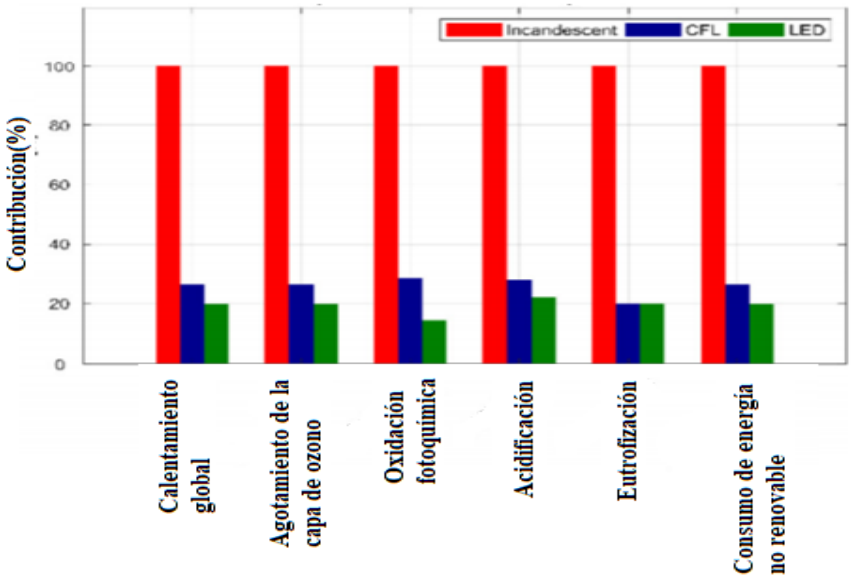


Figura 19. Impacto ambiental en fase de eliminación

Fuente: Ferreira de Souza (2019)

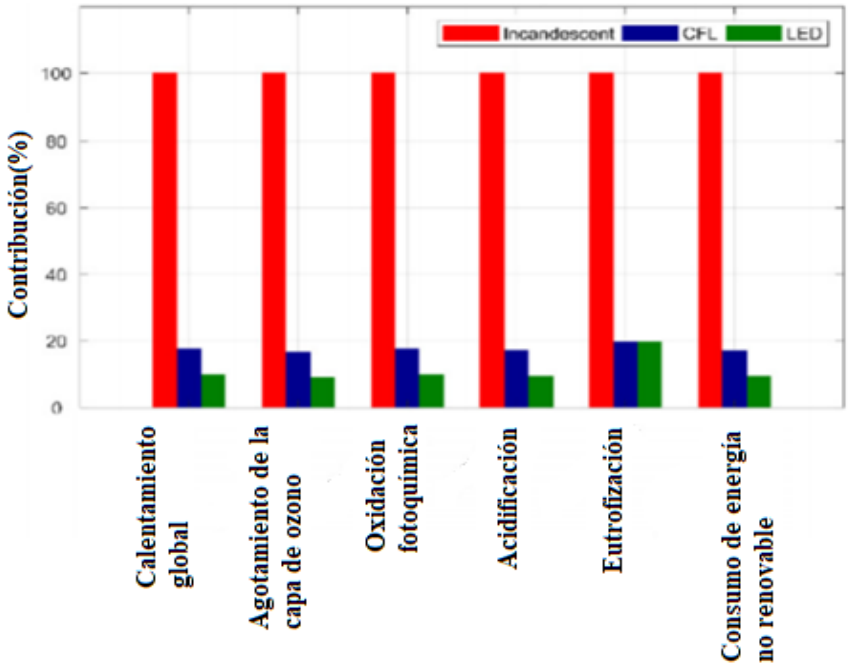


Figura 20. Impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida.

Fuente: Ferreira de Souza (2019)

En general, si se analizan todas estas gráficas mencionadas se puede notar que la tecnología LED es la que mayor proyección debe tener de cara al futuro, pues presenta menores índices de impacto ambiental durante todo su ciclo de vida desde su etapa de fabricación hasta que cumple su vida útil y pasa a ser un desecho, esto se debe a que es una tecnología más reciente y que contempla mayores consideraciones cuando tienen que ser diseñados y fabricados.

2.3. Selección y simulación de una vivienda estándar utilizando DIALux

Para poder sintetizar y analizar lo realizado en el presente trabajo, se ha realizado una simulación en DIALux de una vivienda unifamiliar de 2 plantas, con garaje y áreas abiertas en el interior del domicilio, dicha vivienda tiene capacidad para una familia promedio compuesta por los padres y al menos dos hijos, el motivo de la selección de esta vivienda es que permite no solo el análisis de iluminación para áreas comunes en todos los hogares, sea sala, comedor y habitaciones, sino también para áreas de estar y recreación, así como áreas de jardín y patios exteriores, donde también se requiere un consumo constante de energía eléctrica y por ende económico.

La simulación se realizó con la finalidad de tener un mejor panorama de la eficiencia y ahorro económico que traería consigo una buena selección de las iluminarias del hogar. Para la simulación de iluminación en DIALux, se utilizó iluminarias LED, las cuales fueron presentadas en el actual documento, con su eficiencia lumínica y eléctrica, de esa manera se buscó conseguir el número de luminarias requeridas para satisfacer las necesidades luminotécnicas de la vivienda según la normativa peruana presente en el Reglamento Nacional de Edificaciones, y por medio de los resultados obtenidos en la simulación se realizó una comparativa con el resto de las tecnologías de iluminación.

Para la simulación de las luminarias en el software DIALux, se utilizará la librería de la marca PHILLIPS, la cual posee o poseyó en el mercado todas las tecnologías a analizar en el presente trabajo, además de ser una marca conocida internacionalmente y tener un buen posicionamiento en el mercado peruano.

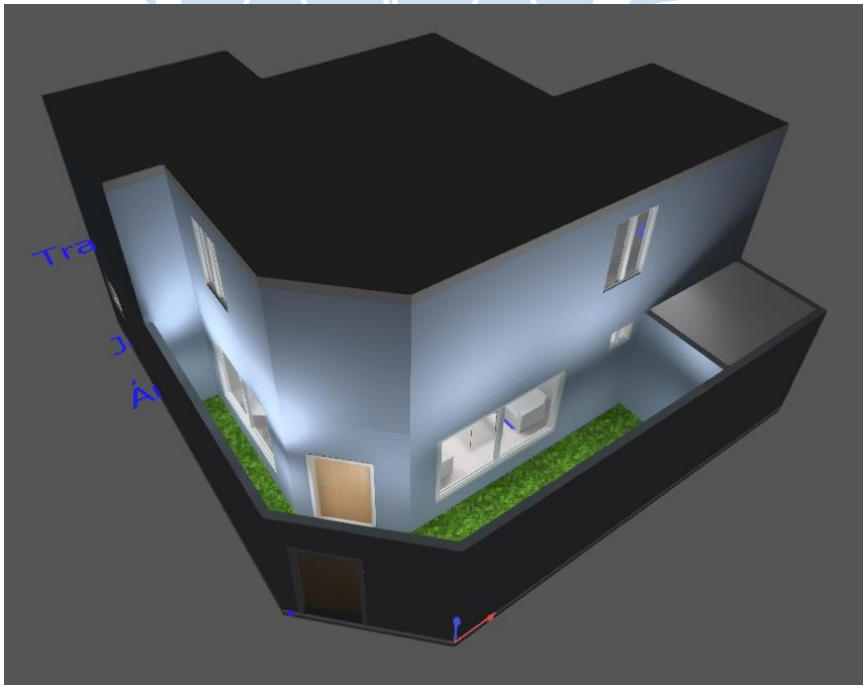


Figura 21. Vivienda simulada en DIALux

Fuente: Elaboración propia

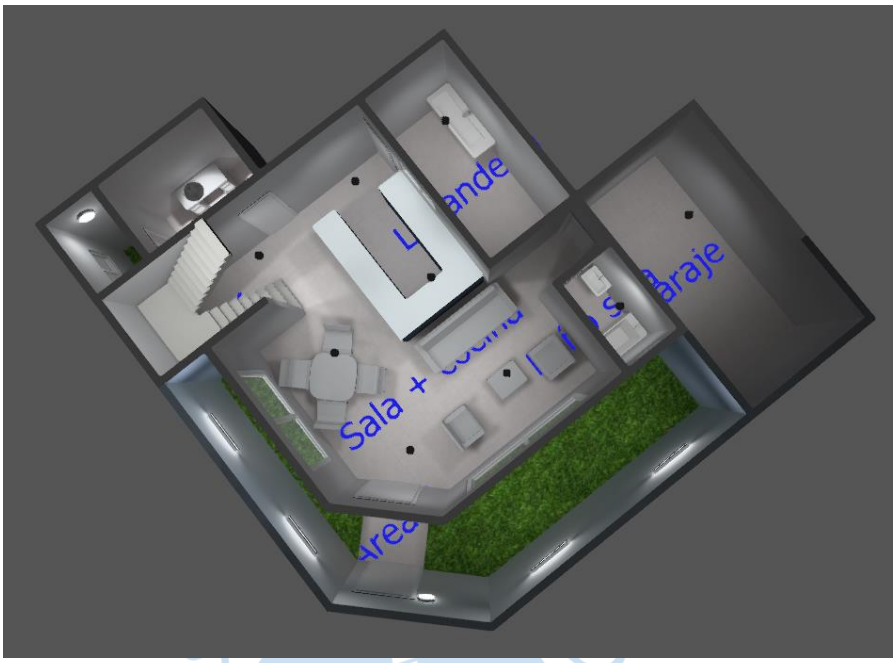


Figura 22. Primera planta de la vivienda

Fuente: Elaboración propia

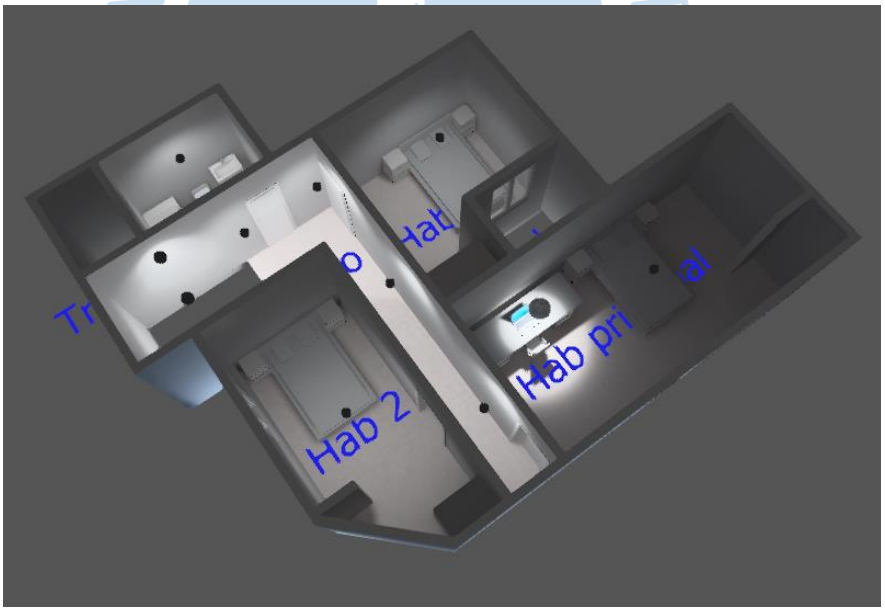


Figura 23. Segunda planta de la vivienda

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente a la elaboración y diseño de la vivienda en DIALux, cuyos planos en el **Anexo 1** se procedió a incluir y seleccionar las luminarias y por medio del análisis de iluminación que realiza el software, pudo obtener un informe de resultados el cual mostraremos a continuación.

2.3.1. Resultados de la simulación

Se sintetizó los resultados obtenidos del informe en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que, al tratar de aproximarnos a un caso real, es decir no buscamos la luminaria que al instalarla nos dé los lux exactos necesarios para el ambiente, sino una que cumpla con el requerimiento, en otras palabras, que al instalar la luminaria la iluminación del ambiente sea superior al recomendado por el Reglamento Nacional de Edificaciones, por ello solo se consideraron dichos datos reales.

Tabla 11. Resultados de la simulación en DIALux

Primera Planta						
Ambiente	**Área local (m^2)**	**Potencia total (W)**	**Lúmenes totales (lm)**	**Cantidad de luminarias**	**Iluminancia Recomendada (lux)**	**Iluminancia (plano útil) (lux)**
Baño 1	2.24	10.6	1200	1	100	156
Entrada	18.63	110	1200	1	100	136
			4000	4		
Estudio	3.97	25	2700	1	500	576
Garaje	13.49	10.6	1200	1	50	64.6
Jardín	1.72	12	1200	1	50	65.9
Lavandería	7.29	22.6	2400	2	150	155
Sala y Cocina	38.47	63.6	7200	6	100	157

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Análisis económico de la vivienda

Para realizar el análisis económico de la vivienda, se utilizó los lúmenes requeridos para la correcta iluminación de cada ambiente ,a fin de determinar el número de luminarias que se requieren, junto con su consumo y costo en el mercado peruano seleccionadas de la sección 2.3 del presente informe, teniendo como principal parámetro su flujo luminoso, ya que al calcular las luminarias necesarias queda en función del flujo luminoso y el área del ambiente, y conociendo su potencia, nos indicará su consumo.

Tabla 12. Resultados de la simulación en DIALux

Segunda Planta						
Ambiente	**Área local (m^2)**	**Potencia total (W)**	**Lúmenes (lm)**	**Cantidad de luminarias**	**Iluminancia Recomendada (lux)**	**Iluminancia (plano útil) (lux)**
Baño 2	3.97	10.6	1200	1	100	134
Habitación 1	10.18	10.6	1200	1	50	79.9
Habitación 2	10.97	10.6	1200	1	50	75.5
Habitación principal	18.53	35.6	1200	1	50	105
			2700	1	300	402
Pasadizo	12.78	76	4800	4	100	366
escalera			4200	2		

Fuente: Elaboración propia

Es conveniente recordar que para evitar diferencias por temas de calidad de marca o variaciones del precio promedio que maneja cada marca se decidió utilizar datos de luminarias Phillips del mercado peruano al igual que fueron utilizadas como catálogo de luminarias en la simulación en DIALux.

Una vez obtenidas las tablas comparativas por tipo de tecnología de iluminación utilizada en la vivienda, las cuales se encuentran en el **Anexo 2**, se pudo obtener los siguientes datos:

Tabla 13. Comparación de tecnologías de iluminación aplicadas a la vivienda

Tecnología	**Consumo total vivienda (kWh)**	**Costo total de luminarias**	**Costo de equipos adicionales**	**Duración promedio (h)**
LED	0.342	S/482.40	-	10000
Fluorescente	0.464	S/325.60	S/472.50	20000
Ahorrador	0.688	S/456.50	-	6000
Incandescente	3.2	S/41.60	-	1000

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia en la tabla 13 que el costo total de luminarias led es mayor, con la excepción de los fluorescentes, ya que estos equipos requieren un balasto electrónico para su encendido

y estabilidad de funcionamiento, presenta el menor consumo eléctrico. Para mejor análisis se muestra la siguiente tabla.

Tabla 14. Consumo energético de cada tipo de luminaria aplicado al caso de estudio

Descripción	**LED (kWh)**	**Fluorescente (kWh)**	**Ahorrador (kWh)**	**Incandescente (kWh)**
Consumo por hora	0.342	0.464	0.688	3.2
Consumo diario (8 horas)	2.736	3.712	5.504	25.6
Consumo mensual	82.08	111.36	165.12	768
Consumo anual	998.64	1,354.88	2,008.96	9,344.00

Fuente: Elaboración propia

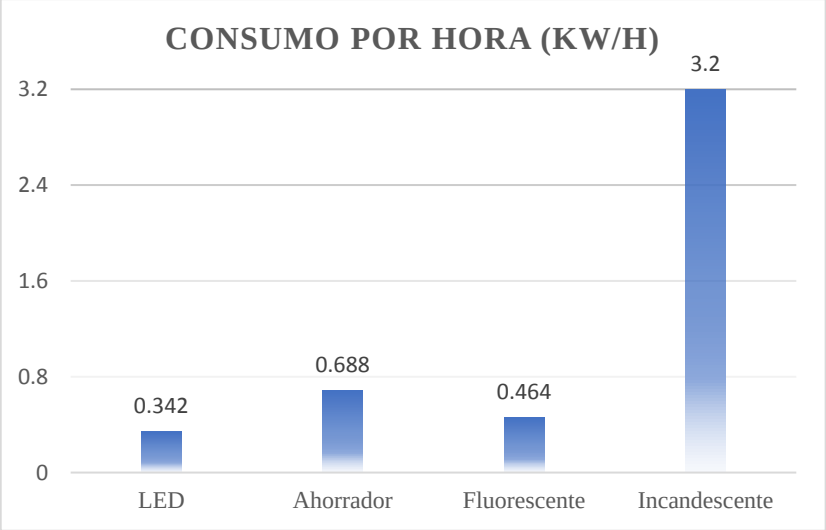


Figura 24. Gráfica comparativa de energía consumida de cada tipo de luminaria
Fuente: Elaboración propia

Se evidencia la gran diferencia de consumo eléctrico que implica la utilización de focos incandescentes en comparación a las otras tecnologías, aunque a simple vista el LED es el que presenta el menor consumo, para justificar este dato aún nos falta analizar el costo por instalar dichas luminarias.

En la gráfica 25 se puede ver que la tecnología que requiere una mayor inversión puntual, es decir por una sola luminaria o sistemas de luminarias de una vivienda, es la de tipo fluorescente, ya que estos equipos requieren un balasto electrónico para su funcionamiento, también se distingue que los focos incandescentes son los que presentar el menor precio del mercado, pero esto se debe comparar con su gran consumo eléctrico que requieren.

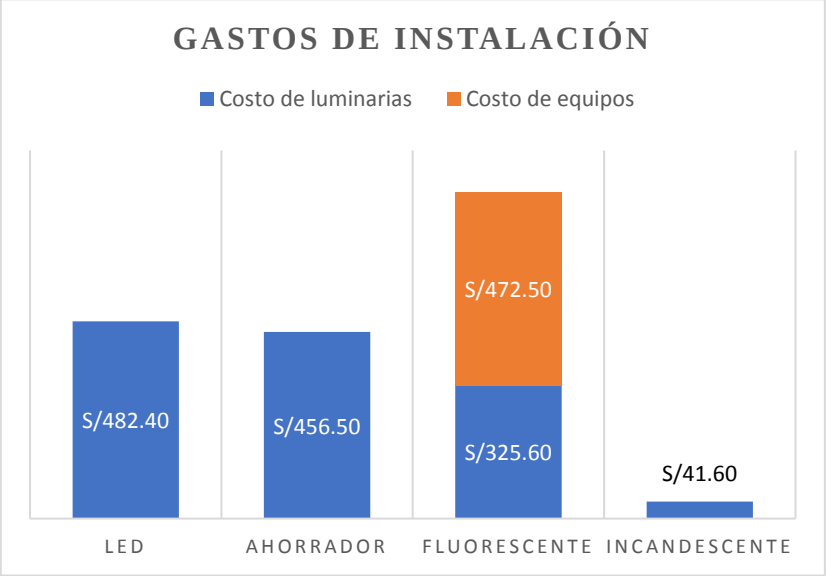


Figura 25. Gastos de Instalación de luminarias en la vivienda por tipo de tecnología
Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta estos datos, para un mejor análisis se considerará una tarifa de servicios eléctricos regulada por OSINERGMIN, la cual será la tarifa BT4, cuyo cargo por consumo de energía eléctrica es de S/.25.39/kWh, se ha escogido esta tarifa debido a que tiene un cargo fijo sin diferenciación entre horas punta y fuera de punta, ya que se busca comparar el cargo aplicado por consumo de energía más no se cuenta con la curva de la demanda de la vivienda.

Para tener un mejor panorama se considerará un intervalo de tiempo de acuerdo con el mínimo común múltiplo del tiempo de vida de las luminarias, suponiendo que las luminarias de la vivienda deben ser reemplazadas a penas cumplan su vida útil que especifica el fabricante, siendo una duración total de 60000 horas, esto con la finalidad de obtener un número de cambios del sistema de iluminación de la vivienda entera y así poder considerar correctamente en el análisis el costo de las luminarias y su cargo por consumo en un tiempo determinado.

Tabla 15. Análisis económico por tipo de luminaria para un tiempo de 60000 horas

Tiempo: 60000 horas	**LED**	**Fluorescente**	**Ahorrador**	**Incandescente**
Reemplazos necesarios del sistema de iluminación	6	3	10	60
Consumo (kWh)	20520	27840	41280	192000
Costo total de equipos	S/2,894.40	S/2,394.30	S/4,565.00	S/2,496.00
Cargo tarifario	S/521,002.80	S/706,857.60	S/1,048,099.20	S/4,874,880.00
Costo total por tipo de tecnología	**S/523,897.20**	**S/709,251.90**	**S/1,052,664.20**	**S/4,877,376.00**

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se puede rescatar de la tabla que si se opta por el tipo de tecnología incandescente se requerirá cambiar muchas más veces el sistema de luminarias de la vivienda que si se opta por el resto de tipo de luminarias, esto debido a su corto tiempo de duración en comparación.

El tiempo de 60000 horas, considerando que las luminarias funcionan 8 horas diarias, constituye un tiempo de 20 años y 200 días, por lo que se evidencia un ahorro de dinero a largo plazo si se selecciona bien el tipo de tecnología de iluminación de una vivienda. Si calculamos el ahorro por año utilizando las dos tecnologías de mejor eficiencia, es decir de tipo LED y fluorescente se puede obtener lo siguiente.

$$ahorro\ por\ año = \frac{709251.9 - 523897.2\ soles}{60000\ horas * \frac{1}{8\ horas} * \frac{1}{365\ años}} = S/.9020.60\ x\ año$$

Esta es una aproximación de cuanto mínimo se puede ahorrar si se selecciona las luminarias LED para iluminar la vivienda en comparación a las fluorescentes u otro tipo de luminarias, se ha realizado este cálculo solo con el tipo fluorescente ya que son las dos tecnologías que presentan mejor eficiencia lumínica aparte de ser de las más usadas. Además, se puede considerar que si se usa luminarias ahorradoras o incandescentes, las cuales tienen menor eficiencia lumínica, este valor aumentará notablemente.

2.4. Análisis de resultados

Se analizarán los resultados teniendo en cuenta la tabla 15 haciendo el uso de diagramas de barras para una mejor visualización de los datos.

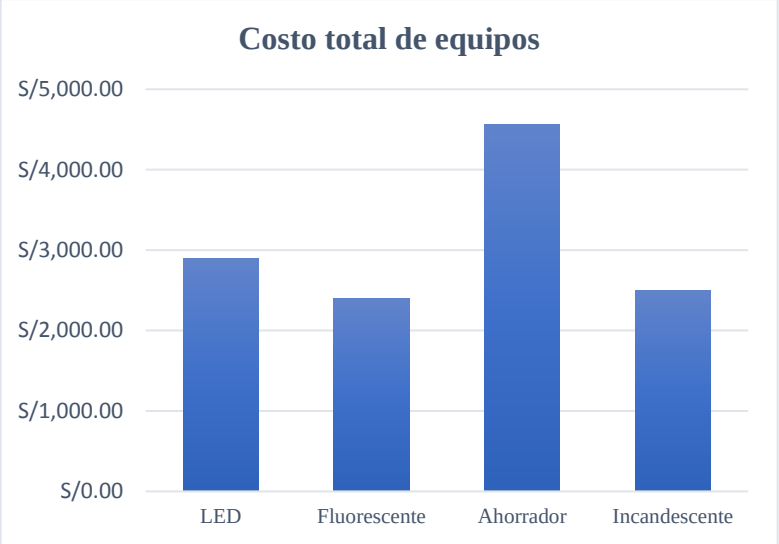


Figura 26. Gráfica comparativa de Costo total de equipos para un tiempo de 60000 horas
Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el hecho de que las luminarias serán cambiadas al acabar su tiempo de vida estimado por el fabricante y que se ha sacado el mínimo común múltiplo de tiempo de vida para poder hacer predicciones de cuanto se tendría que invertir a lo largo de 20 años en cada tipo de tecnología se puede concluir que las tecnologías con menor costo de implementación y reemplazo son las fluorescentes, siguiéndole las incandescentes, LEDS y finalmente los ahorradores. El haber obtenido este orden va directamente relacionado con la vida útil que cada luminaria presenta, sin embargo, esto no es lo único que se debe analizar puesto que también influye el costo relacionado al cambio de las luminarias, de ahí viene que a pesar de que con la tecnología incandescente se requiera un gran número de cambios del sistema de iluminación, el costo de la realización de estos cambios sea menor que con la tecnología ahorradora.

Si es que solo se hubiera hecho solo el análisis de cuánto costaría reemplazar las iluminarias se podría decir que entre las más adecuadas por el costo de tecnología serían las fluorescentes e incandescentes, sin embargo, es necesario hacer el análisis de consumo para poder llegar a la conclusión de cuál es la mejor tecnología que se puede llegar a implementar en un hogar.

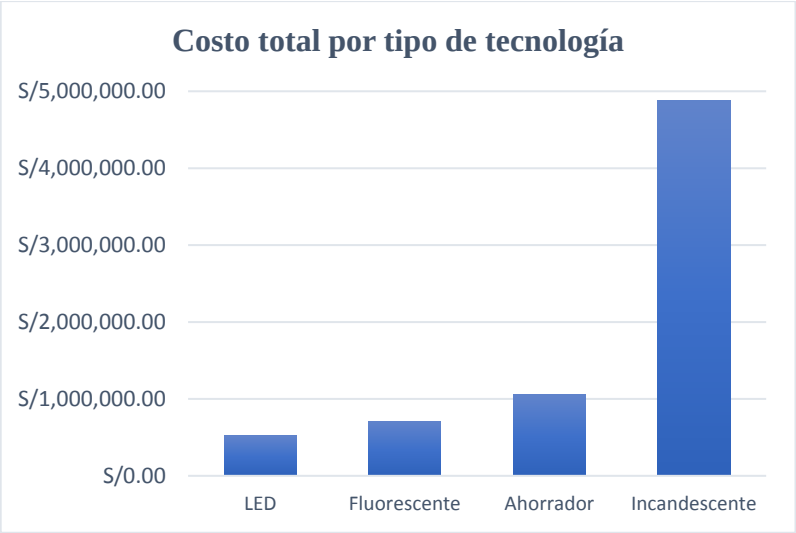


Figura 27. Gráfica comparativa de costos total por tipo de tecnología para un tiempo de 60000 horas
Fuente: Elaboración propia

Una vez hecho el análisis de consumo y sumado a los costos de la implementación de las tecnologías se puede hacer una conclusión más acertada de la tecnología con mejor relación costo beneficio y menor contaminación ambiental a implementar.

En la sección 2.2 ya se había podido establecer que con respecto a contaminación ambiental la tecnología LED era la que presentaba menor impacto; ahora teniendo en cuenta, además de eso, los consumos por tecnología, al usar tecnología LED como fuentes de iluminación domiciliaria se estaría protegiendo al medio ambiente y ahorrando de forma significativa los gastos que se pueden llegar a tener por iluminación.

Al realizar el análisis económico costo-beneficio propiamente dicho, se halló que, si escogemos la tecnología LED por sobre el resto de las tecnologías, se puede obtener un ahorro mínimo de S/.9’020.60 soles al año, siendo de gran rentabilidad en comparación al resto de tecnologías, aun cuando su coste por luminaria sea superior al resto de luminarias.

Conclusiones

Queda demostrado que la tecnología LED es la que mejor costo beneficio presenta y menor contaminación ambiental puede tener. Por lo que a partir de este trabajo se puede promover el uso de este tipo de tecnología para la iluminación domiciliaria y quedaría a evaluar posibilidad de implementarlo en ambientes comerciales.

Al ser los LED un tipo de tecnología que está tomando bastante implementación en la época actual cabe la posibilidad de que esta se siga desarrollando y asiente mucho más su superioridad costo beneficio con respecto a los demás tipos de tecnología.

Este trabajo de investigación se ha realizado teniendo en cuenta los datos de fabricante de las diferentes tecnologías y no se ha puesto en práctica la veracidad de estos, por lo que los resultados podrían variar al implementarse en un domicilio real.

La tecnología menos eficiente y con más contaminación es las incandescentes, que es el tipo de iluminación eléctrica más antiguo y a la que poco se le puede hacer para mejorar su rendimiento y reducir los efectos ambientales.

Se debe enseñar y culturizar a la población sobre este tema pues a veces por costumbre o falta de conocimiento siguen comprando los mismos productos para reemplazar sus luminarias una vez que están cumplen su ciclo de vida, si bien el precio de los LED's es mayor, se puede ver como una inversión pues este consumirá menos energía lo cual se verá reflejado en los recibos de luz y además tendrá un ciclo de utilidad mayor.

El impacto ambiental es importante para inclinarse a elegir las diferentes tecnologías de iluminación, pero sin embargo la mayoría de los usuarios se rigen por el precio y es evidente que en un principio comprar luminarias LED conllevara pagar un precio más alto frente a otro tipo de luminaria pues conlleva un mayor número de componentes, sin embargo, se debe contemplar los beneficios que tienen los LED frente a estos y que puede permitir a su comprador tener un retorno de esa inversión.

En el presente trabajo de investigación se analizó las distintas tecnologías domiciliarias de la marca Philips y no de otras marcas del mercado peruano, debido a que se requería una uniformidad en cuanto a la relación precio – lúmenes emitidos.

La principal razón por la que es importante hacer el análisis económico de las diferentes tecnologías domiciliarias, es poder tener una idea de cómo se desempeñaran cada uno de estos tipos de tecnologías ante los requerimientos lumínicos de la vivienda. Aplicando este análisis en las viviendas del Perú significaría un gran ahorro de S/.9020.60 por año mínimo para viviendas de las mismas dimensiones de las de esta investigación.

En el análisis costo – beneficio no se ha considerado los consumos por potencia de cada tipo de tecnología de iluminación, pero teniendo en cuenta las potencias de cada tipo se puede hacer una idea de cuanta aumentarían los costos. El análisis sigue siendo correcto puesto que lo que se tendría que pagar por potencia es bastante menor en comparación de la energía consumida.

Podemos concluir que la tecnología led ofrece un mayor ahorro económico que las demás tecnologías, observando en la Tabla 15 un ahorro económico de más del 100% con respecto de la ahorradora, un 35% para la fluorescente y un 830% para la incandescente.

Referencias bibliográficas

Acomme. (s.f.). *Estudio de funcionamiento de los focos ahorradores*. Obtenido de: https://www.acomee.com.mx/clasificaciones/FOCOS%20AHORRADORES.pdf

Alfaro, C. (2018). *Propuesta de prototipo de alumbrado inteligente y estudio lumínico en exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura, utilizando tecnología Light Emitting Diode (LED)* (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.

Almacén, J. L. (09 de septiembre de 2015). Obtenido de Led Almacén: https://blog.ledalmacen.com/2015/09/09/partes-de-una-bombilla-led/

Almacén, J. L. (26 de agosto de 2015). Obtenido de Led Almacén https://blog.ledalmacen.com/2015/08/26/tipos-de-casquillos-en-las-bombillas-led/

Álvarez, J. A. (Septiembre de 2015a). Obtenido de Así Funciona. http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_incandesc/af_incandesc_1.htm

Álvarez, J. A. (Septiembre de 2015b). Obtenido de *Así Funciona:* http://asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_3.htm

Belén, M., Egea, F., Vega, M & Mignaburu, J. (s.f). *Servicios de iluminación* [Diapositiva de PowerPoint]. Obtenido de Slideshare: https://www.slideshare.net/ManuelVegaDiNezio/servicios-de-iluminacion).

Blasco, P (s.f.). *Iluminación: Facultad Ingeniería Eléctrica.* Escuela Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Ceupe, E. B. (04 de Febrero de 2019). *Centro Europeo de Postgrado*. Obtenido de CONSTRUMÁTICA https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-rentabilidad-economica.html

CONSTRUMÁTICA. (s.f.). Obtenido de CONSTRUMÁTICA https://www.construmatica.com/construpedia/Lámpara_Incandescente

Déleg, M. (s.f.). *TECNOLOGÍA LED*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Azuay Ecuador.

EcuRed. (15 de Mayo de 2011). Obtenido de EcuRed https://www.ecured.cu/Lámpara_incandescente

Ganslandt, R. & Hofmann, H. (2009). *Cómo planificar con luz.* Madrid. Editorial Erco.

Huamán, J. (2017). *Control inteligente de sistemas e iluminación en edificios* (Tesis de Máster en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con Mención en Automática y Optimización). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.

Kushwaka. (Abril de 2011). Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/267598738_A_Comprehensive_Study_of_Various_Lamps_Through_Energy_Flow_Diagrams_EFDs

Lago, A. S. (1 de Noviembre de 2015). (A. S. Lago, Editor) Obtenido de Inter empresas: https://www.interempresas.net/Iluminacion/Articulos/225707-La-construccion-del-LED.html

Lumikon. (22 de Noviembre de 2017). *El ABC de la ilumincación*. Obtenido de https://www.lumikon.com.mx/blogs/glosario-de-iluminacion/como-funciona-mi-foco-ahorrador

Manual de Alumbrado: Luminotecnia IDALUX. (2002).

Mecatrónica LATAM. (s.f.). Obtenido de Mecatrónica LATAM https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/diodo/diodo-led/#que_es_un_diodo_led

Miranda Mejía, J. R., Martínez Góme, S., & Hernández Miranda, J. (2014). *Análisis del tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final*. Universidad Tecnológica de El Salvador.

Muñoz, J. G. (Setiembre de 2008). Revista Vivat Academia. Obtenido de Bombilla de bajo consumo: http://www3.uah.es/vivatacademia/anteriores/n98/docencia.htm#:~:text=El%20primer%20dispositivo%20considerado%20como,alem%C3%A1n%20Heinrich%20Geissler%2C%20en%201856.&text=La%20l%C3%A1mpara%20m%C3%A1s%20parecida%20en,como%20gas%20vapor%20de%20mercurio.

Rodríguez, F. (s.f). *La radiación solar* [Diapositiva de PowerPoint]. Universidad Miguel Hernández. Programa Académico de Ingeniería Eléctrica. Elche, España.

Scopacasa, V. A. (s.f.). Introdução à tecnología de LED.

Wikipedia. (27 de mayo de 2020). Luminaria fluorescente. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria_fluorescente#Historia

Apéndices

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Apéndice 1: Tabla de luminarias del mercado peruano seleccionadas para iluminar la vivienda según los lúmenes requeridos

LED:

Luces LED						
Ambiente	**Lúmenes requeridos**	**Nombre del artículo**	**Flujo luminoso**	**Cantidad**	**Potencia total (W)**	**Precio**
Baño 1	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
Entrada	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
	4000	LED EcoHome 12W E27 Luz Fría	1000	4	48	S/23.90
Estudio	2200	Foco LED UFO 24W E27 Luz Fría	2250	1	24	S/47.90
Garaje	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
Jardín	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
Lavandería	2400	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	2	24	S/30.60
Sala y cocina	7200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	6	72	S/91.80
Baño 2	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
Habitación 1	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
Habitación 2	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
Habitación principal	1200	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	1	12	S/15.30
	2200	Foco LED UFO 24W E27 Luz Fría	2250	1	24	S/47.90
Pasadizo	4800	Foco LED Essential 12W E27 Luz Fría	1250	4	12	S/61.20
Escalera	4200	Foco LED Essential 14W E27 Luz Fría	1521	3	42	S/56.70
					342W	**S/482.40**

Focos ahorradores:

Focos ahorradores						
Ambiente	**Lúmenes requeridos**	**Nombre del artículo**	**Flujo luminoso (lumen)**	**Cantidad**	**Potencia total (W)**	**Precio**
Baño 1	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
Entrada	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
	4000	Foco Ahorrador Espiral 32W E27 Luz Fría	2180	2	64	S/51.80
Estudio	2200	Foco Ahorrador Espiral 42W E27 Luz Fría	2730	1	42	S/30.90
Garaje	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
Jardín	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
Lavandería	2400	Foco Ahorrador Espiral 42W E27 Luz Fría	2730	1	42	S/30.90
Sala y cocina	7200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	6	138	S/83.40
Baño 2	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
Habitación 1	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
Habitación 2	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
Habitación principal	1200	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	1	23	S/13.90
	2200	Foco Ahorrador Espiral 42W E27 Luz Fría	2730	1	42	S/30.90
Pasadizo	4800	Foco Ahorrador Eco Twister 23W E27 Luz Blanca	1380	4	92	S/55.60
Escalera	4200	Foco Ahorrador Espiral 42W E27 Luz Fría	2730	2	84	S/61.80
					688W	**S/456.50**

Fluorescentes con balasto electrónico:

Focos Fluorescentes							
Ambiente	**Lúmenes requeridos**	**Nombre del artículo**	**Flujo luminoso (lumen)**	**Cantidad**	**Potencia total (W)**	**Precio**	**Equipos adicionales (balasto y arrancador)**
Baño 1	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
Entrada	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
	4000	Tubo fluorescente TLD 36W/54-765 G13 Luz Fría	2500	2	72	S/5.90	S/37.80
Estudio	2200	Tubo fluorescente TL5 28W/865 G5 Luz Fría	2600	1	28	S/13.90	S/18.90
Garaje	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
Jardín	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
Lavandería	2400	Tubo fluorescente TL5 28W/865 G5 Luz Fría	2600	1	28	S/13.90	S/18.90
Sala y cocina	7200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	6	84	S/83.40	S/113.40
Baño 2	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
Habitación 1	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
Habitación 2	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
Habitación principal	1200	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	1	14	S/13.90	S/18.90
	2200	Tubo fluorescente TL5 28W/865 G5 Luz Fría	2600	1	28	S/13.90	S/18.90
Pasadizo	4800	Tubo fluorescente TL5 14W/865 G5 Luz Fría	1260	4	56	S/55.60	S/75.60
Escalera	4200	Tubo fluorescente TL5 28W/865 G5 Luz Fría	2600	2	56	S/27.80	S/37.80
					464W	**S/325.60**	**S/472.50**

Focos Incandescentes:

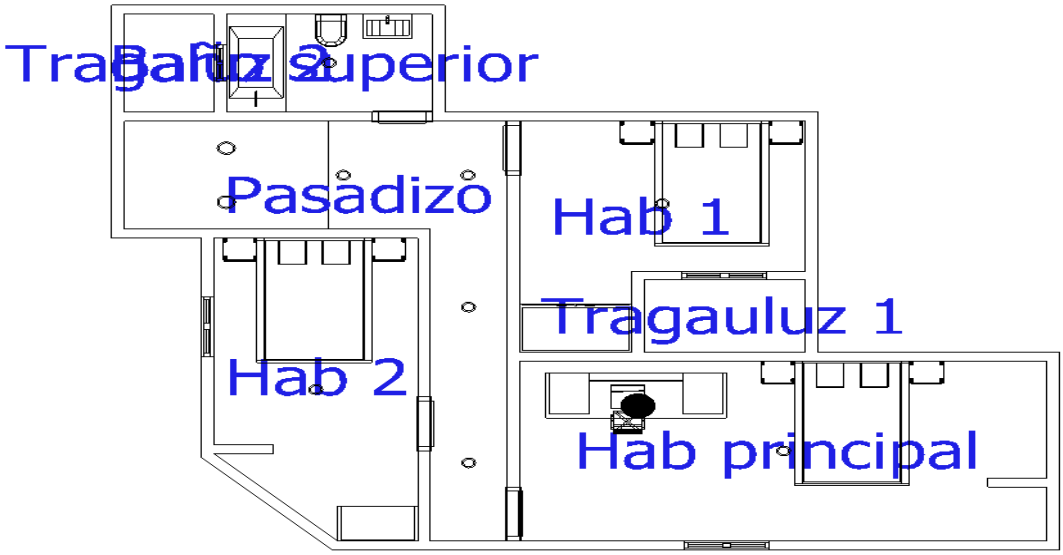
Focos Incandescentes						
Ambiente	**Lúmenes requeridos**	**Nombre del artículo**	**o luminoso (lum**	**Cantidad**	**Potencia total (W)**	**Precio**
Baño 1	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
Entrada	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
	4000	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	4	400	S/5.20
Estudio	2200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	2	200	S/2.60
Garaje	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
Jardín	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
Lavandería	2400	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	2	200	S/2.60
Sala y cocina	7200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	6	600	S/7.80
Baño 2	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
Habitación 1	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
Habitación 2	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
Habitación principal	1200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	1	100	S/1.30
	2200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	2	200	S/2.60
Pasadizo	4800	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	4	400	S/5.20
Escalera	4200	Foco Incandescente A55 100W E27 Luz Blanca	1240	4	400	S/5.20
					3200W	**S/41.60**

Planos

UNIVERSITAS STUDIORUM PIURENSIS

Planos de la vivienda en DIALux

Primera planta:



Segunda planta: