



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

**ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LED EN EL
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL BULEVAR QUE CONDUCE DE EL PROGRESO,
YORO HACIA LA LIMA, CORTÉS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21611131 ANA ELOISA ALMENDAREZ RODRIGUEZ

ASESOR:

PHD. ING HÉCTOR VILLATORO

CAMPUS:

SAN PEDRO SULA

NOVIEMBRE, 2020

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi padre quien me enseñó que podemos lograr todo lo que nos proponemos con perseverancia y dedicación. También a mi madre quien me enseñó que con amor y paciencia todo es posible.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien con su bendición llena siempre mi vida, a mis padres por siempre estar presentes y nunca soltar mi mano.

En especial a mi padre, por ser un ejemplo de esfuerzo, lucha, dedicación y perseverancia, por su fe en mí y enseñarme que siempre debo seguir mis sueños, que no debo tener miedo, a nunca darme por vencida y mostrarme el camino hacia la superación. Por todo el esfuerzo y dedicación hacia mí para poder culminar mi carrera universitaria, y el apoyo para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible, todo se lo debo a él. Papi, te amo.

Con cariño a mi madre por todo su apoyo incondicional y por alentarme siempre en momentos difíciles, por darme su amor y su bendición siempre. A mis hermanos por quererme, cuidarme y confiar en mí.

A mis amigos por permitirme tener una grata experiencia a lo largo de mi vida universitaria, en especial a mi amiga Fadia Espinoza quien fue y es mi mano derecha en todo el proceso y por siempre darme su apoyo y su cariño. A mi mejor amigo Jorge Ramos por siempre creer en mí y estar presente incondicionalmente.

A mis educadores por formarme académicamente y que gracias a su conocimiento logro culminar con éxito esta etapa fundamental en mi vida. Al Ing. Juan Ramon Bustamante, por haber creído desde un inicio en mi capacidad para abordar este trabajo y por todo su apoyo, paciencia, tiempo y conocimiento brindado. A la Ing. Vielka Barahona, Ing. Alicia Reyes, Ing. Claudia Paz y el Ing. Franklin Martínez por siempre tenderme una mano y compartir sus conocimientos y consejos a lo largo de mi carrera. A mi asesor, Ing. Héctor Villatoro por su dirección y disponibilidad en la realización de este trabajo.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

La iluminación juega un papel muy importante en el uso de energía y la tecnología LED es muy prometedora ya que se caracteriza por su alta eficiencia y prolongada vida útil. Por otra parte, es necesario y de suma importancia buscar ser eficientes energéticamente, de esta forma se pueden reducir las pérdidas en la red eléctrica, los consumos y costos de energía. Por esta razón, surge la necesidad de migrar a esta nueva tecnología, ya que al tener menor consumo las pérdidas y costos se reducen, y los ahorros se elevan. También, es amigable con el ambiente. Este estudio tiene como finalidad evaluar la factibilidad técnica y económica de la instalación de lámparas LED en el bulevar con conduce de El Progreso, Yoro hacia La Lima, Cortes, Honduras. Se representó el sistema de iluminación actual mediante un software de diseño de iluminación llamado DIALux, este software realiza cálculos energéticos de los sistemas de iluminación para cerciorar que se cumplen las normas de eficiencia energética vigentes nacional e internacionalmente. El diseño determinó que la iluminación actual del bulevar no cumple los parámetros requeridos por la norma para iluminación vial, esto quiere decir que el sistema de iluminación actual no está diseñado bajo una normativa de eficiencia energética. La investigación logró determinar que la instalación de un sistema con lámparas LED de 135W y una vida útil de 100,000 horas que se traduce a 22 años aproximadamente, supone un ahorro de energía y dinero de aproximadamente 64.8% con respecto al sistema de iluminación actual que tiene instaladas lámparas de vapor de sodio tipo cobra de 250 W.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema	3
	2.1 Precedentes del Problema.....	4
	2.2 Definición del Problema	4
	2.3 Justificación.....	5
	2.4 Preguntas de Investigación.....	5
III.	OBJETIVOS	7
	3.1 Objetivo General	7
	3.2 Objetivos Específicos.....	7
IV.	Marco Teórico.....	8
	4.1. Descripción del alumbrado público en Honduras	8
	4.2 Cálculo y costo de consumo de energía por alumbrado público.....	8
	4.2.1 Cálculo de consumo de energía de alumbrado público	9
	4.2.2 Cálculo de costos de consumo de energía por alumbrado público	10
	4.3 Iluminación LED.....	11
	4.3.1 Efectos de la iluminación led en la calidad de energía	13
	4.4 Iluminación led vs convencional para alumbrado público	15
	4.5 Utilización del software DIALux	16
V.	Metodología	18
	5.1 Enfoque	18
	5.2 hipótesis.....	18
	5.3 Variables de investigación	19
	5.3.1 Variables dependientes.....	19
	5.3.2 variables independientes.....	19
	5.4 Técnicas e instrumentos aplicados.....	20

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Comparación de la evolución-rendimiento de los dispositivos luminosos.....	12
Ilustración 2. Normas internacionales sobre límites de emisión de armónicos	14
Ilustración 3. Distribución de flujo luminoso de luminarias tipo LED	17
Ilustración 4. Variables de investigación	19
Ilustración 5 Vista de planta del sistema de iluminación actual.....	29
Ilustración 6 Vista en 3D del sistema de iluminación actual.....	30
Ilustración 7 Recuadro de evaluación de parámetros de eficiencia.....	30
Ilustración 8 Vista de planta del diseño de iluminación con LED.....	31
Ilustración 9 Vista en 3D del diseño de iluminación con LED	32
Ilustración 10 Recuadro de evaluación de parámetros de eficiencia	32
Ilustración 11 Flujo de efectivo	36
Ilustración 12 Promedio de ahorros anuales	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades	24
Tabla 2 Especificaciones de los tipos de luminaria.....	25
Tabla 3 Consumo de energía de las luminarias.....	26
Tabla 4 Costos promedio de energía de las luminarias del bulevar	27
Tabla 5 Costos y consumos de energía del sistema de iluminación actual.....	27
Tabla 6 Costos y consumo de energía del sistema con lámparas LED.....	28
Tabla 7 Parámetros de entrada para el análisis tecno/económico.....	34
Tabla 8 Costos de desinstalación de lámparas.....	35
Tabla 9 Análisis de retorno de inversión y ahorros.....	35

Índice De Ecuaciones

Ecuación 1- Fórmula para cálculo de consumo de energía < 1,023 kWh	9
Ecuación 2- Fórmula para cálculo de consumo de energía 1.023[kWh]< Consumo cliente < 2,813 [kWh]	9
Ecuación 3 Fórmula para cálculo de consumo de energía >2,813 [kWh]	9
Ecuación 4 Fórmula para cálculo de costos de alumbrado público	10
Ecuación 5 Fórmula para determinar el coeficiente global de uniformidad	21
Ecuación 6 Fórmula para determinar el coeficiente longitudinal de uniformidad	21
Ecuación 7 Fórmula para determinar el coeficiente de deslumbramiento perturbador	22
Ecuación 8 Fórmula para cálculo de consumo de energía	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Especificaciones técnicas de la lámpara LED	44
Anexos 2. Especificaciones técnicas de lámpara de vapor de sodio	48
Anexos 3. Resumen de resultados obtenidos del diseño de iluminación LED	50

I. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de la eficiencia energética y el ahorro de energía, se han creado nuevas tecnologías para alcanzar este objetivo. Una de ellas, es la tecnología LED en la iluminación exterior.

En alumbrado público en los últimos años se ha ido optando por instalar lámparas de tecnología LED en sus sistemas ya que según un reporte de TNA (Technology Needs Assessment) afirma no solo suponen un ahorro casi del 80% comparado con las lámparas tradicionales, sino que también ofrecen una mejor calidad de iluminación y comodidad visual. Estos dos últimos aspectos son muy importantes para la iluminación vial ya que al tener una iluminación de calidad se pueden evitar accidentes y además ofrece mayor seguridad en las calles y carreteras.

Se han realizado varios estudios alrededor del mundo sobre la implementación de tecnología LED en alumbrado público en busca de la eficiencia energética y reducción del consumo energético.

En Ecuador se realizó un estudio del uso eficiente de la energía en el alumbrado público mediante tecnología LED (Jorge, Rojas-Moncayo, & Barreto-Calle, 2019). También, en Ecuador se realizó un estudio de factibilidad para la implementación de un nuevo sistema de alumbrado público en Av. Olmedo de la ciudad de Esmeraldas (Delgado-Quiñonez, 2018). En España se llevó a cabo un estudio similar en el cual también se propone la implementación de tecnología LED en el alumbrado público en busca de la reducción del consumo energético en el país (González Gómez, 2018). En Costa Rica se realizó el estudio y el análisis de un rediseño del sistema de alumbrado público del complejo de Playa Club & Hotel Condovac La Costa en pro de la eficiencia energética y la autogeneración. (Rojas Mejía, 2016).

Similar a los estudios mencionados previamente, esta investigación evaluará el costo/beneficio así como la eficiencia y rendimiento de una instalación de un sistema de iluminación con lámparas LED en el bulevar que conduce de El Progreso, Yoro a La Lima, Cortés. Mediante una comparación entre el sistema de iluminación actual del bulevar y el nuevo sistema

propuesto se determinará si la iluminación del bulevar actualmente cuenta con los parámetros de eficiencia energética requeridos para alumbrado público, esta comparación se realizará con un software de iluminación que trabaja conforme a las normas vigentes nacional e internacionalmente. Este estudio se desarrolla con el objetivo de adoptar prácticas de eficiencia energética y determinar ahorros y beneficios que se pueden obtener mediante dichas prácticas.

El informe constará de nueve capítulos incluida la presente introducción. El resto se divide en: planteamiento del problema, en el cual se detallará la definición del problema con sus precedentes, justificación y preguntas de investigación. Los objetivos, donde se detalla el objetivo general y específicos de la investigación. El marco teórico que es donde se condensa toda la información teórica necesaria para llevar a cabo el estudio. La metodología, capítulo en el cual se presenta el enfoque de investigación, variables de investigación, técnicas e instrumentos aplicados, y los pasos a seguir para llevar a cabo el desarrollo del estudio. Resultados y análisis, en este capítulo se mostrarán los cálculos realizados y la interpretación de los resultados obtenidos. Conclusiones, este capítulo va directamente de la mano con los objetivos y preguntas de investigación. Recomendaciones, se determinarán de acuerdo con las conclusiones. Aplicabilidad/implementación que describe cómo puede ser utilizado el estudio.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La tecnología LED (Light Emitting Diode) es una tecnología que se caracteriza por su eficiencia, "definida bajo el término "*rendimiento lumínico*", factor clave hoy en día por el efecto positivo que tiene en el equilibrio energético y ecológico. El rendimiento lumínico es el cociente entre el flujo luminoso emitido por una fuente luminosa y la potencia consumida por dicha fuente; un valor que se mide en lumen por vatio [lm/W]" (LA EFICIENCIA DEL LED, 2015)

En prácticas de laboratorio se demostró que los dispositivos LED alcanzan valores de eficiencia de hasta 250 [lm/W] a diferencia de las lámparas normales utilizadas comúnmente en alumbrado público que tienen un rendimiento alrededor de 100 a 120 [lm/W] (LA EFICIENCIA DEL LED, 2015). Esta tecnología consiste en la creación de energía lumínica de una forma extremadamente eficiente sin tener pérdidas de calor. (Gabriel, 2018).

La iluminación LED en exteriores, en este caso para alumbrado público, es una alternativa excelente y prometedora si lo que se busca es un ahorro energético y monetario. Con esta tecnología se ahorra aproximadamente el 80% del consumo de energía de las lámparas tradicionales. (DMX tecnologías)

Es importante tomar en cuenta que las lámparas LEDS tienen ciertas desventajas, entre ellas, la inyección de armónicos en la red eléctrica. "Un efecto de la iluminación LED sobre la calidad de la energía son los armónicos. Los equipos de iluminación LED generan un nivel relativamente alto de distorsión armónica en la corriente. Por ejemplo, una lámpara LED de 25W que cumpla la norma IEC 61000-3-2 y que inyecte un 85% del tercer armónico y un 61% del quinto armónico, tendrá un valor THD(I) del 105%, que es extremadamente alto." (Hernandez, 2018)

Actualmente, en la ciudad de San Pedro Sula, Tegucigalpa, La Ceiba, entre otras, las empresas ENEE y EEH ya están implementando esta iniciativa, se pretende determinar si sus acciones son basadas en una línea de eficiencia energética, con un diseño óptimo y si sigue una normativa de eficiencia energética.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

En España como en otros países se han llevado a cabo muchos proyectos de instalación de lámparas LED que han sido de mucho beneficio para la economía del país.

La ciudad de Barcelona en España creó un proyecto de renovación de farolas con tecnología LED, que beneficiaría al país con un ahorro del 5% de la potencia contratada y en cuanto a energía, se esperan ahorros de 3,000 [MWh] al año, lo que equivale al consumo de energía de alrededor de 1500 familias. (Mercader, 2019)

En el año 2017 se implementó en Honduras un cambio a tecnología LED en el alumbrado público de las ciudades de Tegucigalpa, San Pedro Sula y La Ceiba, estas ciudades fueron beneficiadas con un proyecto de instalación de 100,000 lámparas LED. Este proyecto además de representar un ahorro significativo de energía, se obtuvo una recuperación de la iluminación pública. (Soy Digital, 2017)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Honduras, en el sistema de alumbrado público existen muchas pérdidas y deficiencias, las pérdidas son de 36.14%, con un porcentaje de pérdidas acumulado del 31.57% según un comunicado emitido por EEH. Esto hace que el consumo de energía en la iluminación del sistema se eleve y por ende tenga un mayor costo; este costo es asumido por los clientes. Entre más alto sea el consumo de alumbrado público, mayor será el costo que se cobrará por este servicio en la factura de energía que brinda la EEH. Por esta razón, la finalidad de la presente investigación es evaluar la eficiencia y ahorro que supone un cambio a tecnología LED para el alumbrado público de la zona de estudio.

Por otra parte, investigar el proceso para poder corregir los armónicos que los LEDs inyectan a la red eléctrica.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se desarrolla en la ciudad de El Progreso, específicamente en el boulevard que conduce de El Progreso, Yoro hacia La Lima, Cortés. Al ser un boulevard muy transitado es importante que las calles cuenten con un sistema de alumbrado público favorable.

Por otra parte, además de ser favorable se debe siempre buscar ser eficientes energéticamente y ahorrar tanto energía como dinero. El hecho de que el consumo en el alumbrado público sea alto, también será alto el costo de éste, costo que es asumido por los habitantes de la ciudad en su factura de energía eléctrica. Entonces es importante buscar un equilibrio para poder tener iluminación de calidad en las calles, eficiencia energética, ahorro monetario y menos contaminación para el ambiente.

Es sumamente necesario elegir un diseño idóneo a la zona de estudio, dado que al hacer un sobredimensionamiento o no contar con un diseño de iluminación adecuado, se pueden tener pérdidas.

Es importante tomar en cuenta que, si se busca eficiencia energética y reducir pérdidas y consumo para poder reducir costos, es precisa la evaluación de las ventajas, desventajas y fallas que los LEDS puedan ocasionar en el sistema de alumbrado público y evaluar una posible solución para poder evitar o corregir estas fallas.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es el diseño de iluminación conveniente para las zonas que se van a estudiar?
3. ¿Cuánto es el ahorro que se puede obtener al cambiarse a esta nueva tecnología LED en el sistema de alumbrado público?
4. ¿Cómo se pueden corregir los armónicos que los LEDS inyectan a la red?
5. ¿Cuál es el costo-beneficio de un proyecto de instalación de lámparas LED para el sistema de alumbrado público?

6. ¿Cuánto es el ahorro en [kWh] y lempiras al migrar a la tecnología LED comparado con las lámparas tradicionales utilizadas en el alumbrado público del boulevard?
7. ¿Cuánto es el rendimiento de una instalación de iluminación con lámparas LED comparada con una instalación con lámparas tradicionales?
8. ¿Las acciones de la ENEE al implementar esta tecnología en otras zonas han sido adecuadas y en busca de la eficiencia energética y un diseño de iluminación idóneo?

III. OBJETIVOS

Los objetivos de la investigación son aquellos que tiene como fin lograr una meta dentro del proyecto.

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el costo-beneficio que tendría la implementación de la tecnología LED para el sistema de alumbrado público del boulevard de El Progreso y determinar tanto la eficiencia como el ahorro energético [kWh] y monetario [Lps]. Sumado a esto, evaluar si las actividades realizadas previamente por la ENEE Y EEH al implementar esta tecnología son siguiendo norma de eficiencia energética y un diseño conveniente para el sistema.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un diseño de iluminación eficiente para el bulevar en la ciudad de El Progreso.
2. Realizar una comparación ahorros y rendimiento de un sistema de iluminación con LEDS y uno con iluminación de lámparas de vapor de sodio.
3. Desarrollar un análisis financiero que permita establecer el costo/beneficio del proyecto.
4. Comparar y evaluar si las actividades realizadas por ENEE al implementar esta tecnología en otras zonas han mostrado cambios positivos en cuanto a reducción de pérdidas y eficiencia energética.
5. Investigar técnicas de reducción de la inyección de los armónicos producidos por los LEDS en la red eléctrica.

IV. MARCO TEÓRICO

En este apartado se describe el sistema de alumbrado público y cómo el costo de éste se carga en la factura de energía del sector residencial en Honduras, además, se definen la iluminación LED y la iluminación tradicional. Por otra, se define el software DIALux que será una herramienta para el desarrollo de esta investigación.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN HONDURAS

El alumbrado público son aquellas instalaciones eléctricas que forman parte de lo que es el sistema de iluminación de las calles, como ser los postes, luminarias, cables.

Se han desarrollado en Honduras varios proyectos de iluminación LED en el sistema de alumbrado público en ciudades como San Pedro Sula, Tegucigalpa, y La Ceiba. Sin embargo, en Honduras se observan usos ineficientes de la energía. Generalmente, las normas de eficiencia energética no se implementan, no existen incentivos para el uso eficiente de energía, entre otros.

Otro inconveniente es que existen algunas zonas, como en la capital en donde las luminarias del alumbrado permanecen encendidas 24/7 y debido a esto el costo de energía por alumbrado público se eleva, ya que un bombillo dependiendo de la potencia de la lámpara puede consumir más de 2 kWh al día, además una lámpara de alumbrado que permanece encendida de manera constante reduce su vida útil a la mitad. (Gomez, 2014).

4.2 CÁLCULO Y COSTO DE CONSUMO DE ENERGÍA POR ALUMBRADO PÚBLICO

En Honduras existen deficiencias en el sistema eléctrico porque hay líneas de transmisión y distribución que están deterioradas, algunas obsoletas. Debido a la situación de emergencia por la que atraviesa el país por la pandemia del COVID-19 el porcentaje de pérdidas de energía eléctrica se han elevado por diversos factores, entre ellos la alteración de los patrones de consumo en los hogares por el confinamiento.

Según un comunicado emitido por EEH (Empresa Energía Honduras) el 22 de mayo de 2020, la situación actual ha dado como resultado un porcentaje de pérdidas en el sistema de distribución, en el mes de abril del presente año, de 36.14%. (EEH, 2020)

Estas pérdidas dan como resultado consumos elevados en el sistema de iluminación pública, y éstos repercuten en el costo final de la factura de energía eléctrica para los clientes.

4.2.1 CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGÍA DE ALUMBRADO PÚBLICO

“La ENEE efectúa la facturación del servicio de alumbrado a cada abonado dependiendo de la energía consumida (kWh), el cargo no está relacionado con el número y potencia de las lámparas instaladas en cada sector o localidad, tampoco se relaciona la cantidad y calidad de alumbrado que el abonado utiliza; un determinado abonado podría no tener acceso al servicio y siempre estaría pagando por éste, no se fomenta la calidad de servicio que se brinda ni tampoco el ahorro.” (CNE (Comisión Nacional de Energía), 2011)

Las fórmulas para cálculo de consumo de energía de alumbrado público en función del consumo de energía del cliente son:

a. Para un consumo de cliente menor a 1,023 [kWh] (< 1,023 [kWh])

$$kWh_{Alumbrado} = 0.0289567 * (Consumo_{cliente} [kWh])$$

Ecuación 1- Fórmula para cálculo de consumo de energía < 1,023 kWh

Fuente: (CNE (Comisión Nacional de Energía), 2011)

b. Para un consumo de cliente menor a 2,813 [kWh] y mayor a 1,023 [kWh] (1,023 [kWh] < Consumo Cliente < 2,813 [kWh])

$$kWh_{Alumbrado} = 29.622704 * e^{\left[\frac{Consumo_{cliente} [kWh] - 1092}{1003}\right]}$$

Ecuación 2- Fórmula para cálculo de consumo de energía 1.023[kWh] < Consumo cliente < 2,813 [kWh]

Fuente: (CNE (Comisión Nacional de Energía), 2011)

c. Para un consumo de cliente mayor a 2,813 [kWh] (> 2,813 [kWh])

$$kWh_{Alumbrado} = 1003.3820120 - 832.9255879 * e^{[-0.0002(Consumo_{cliente} [kWh] - 2813)]}$$

Ecuación 3 Fórmula para cálculo de consumo de energía >2,813 [kWh]

Fuente: (CNE (Comisión Nacional de Energía), 2011)

4.2.2 CÁLCULO DE COSTOS DE CONSUMO DE ENERGÍA POR ALUMBRADO PÚBLICO

La CREE calculará la energía consumida por alumbrado público tomando en consideración el inventario de luminarias y las pérdidas en cada una de ellas, aplicando un factor de corrección por concepto de las luminarias quemadas y suponiendo un máximo de doce horas de operación diaria. Con esas bases la CNE autorizará el volumen mensual de energía a facturar por ese concepto de acuerdo con lo establecido en el Artículo 55 de la Ley. El factor de corrección se estimará tomando como modelo una zona representativa de una ciudad. Se hará inventario total de las luminarias instaladas y de las que no funcionan. El cociente entre las luminarias que no funcionan y el total de las luminarias instaladas será el factor de corrección que se usará en todo el sistema. Las diferencias que surjan entre lo cobrado por alumbrado público y lo autorizado a cobrar, serán compensadas a los usuarios, mediante cargo o créditos a su facturación mensual (CNE (Comisión Nacional de Energía), 2011)

- Costos de alumbrado público

$$Costo_{Alumbrado} = (Factor\ de\ Corrección) * (Ingreso\ Medio) * (kWh_{Alumbrado})$$

Ecuación 4 Fórmula para cálculo de costos de alumbrado público

Fuente: (CNE (Comisión Nacional de Energía), 2011)

- Donde:
“-El **Factor de Corrección (FC)**, es la relación existente entre la cantidad de potencia total de todas las luminarias instaladas que se tienen en inventario en la ENEE, entre la cantidad total de potencia consumida por todos los abonados.

-El Ingreso Medio (IM), es el cálculo de la relación existente entre la cantidad total de dinero que se factura en un mes determinado, entre la cantidad total de energía que se factura a nivel nacional.” (CNE (Comisión Nacional de Energía), 2011)

4.3 ILUMINACIÓN LED

El planeta se enfrenta a retos energéticos sumamente importantes. Se estima que para el 2040 el consumo de energía a nivel mundial crezca hasta un 56%. La iluminación juega un papel muy importante en el uso de energía, en algunos casos, representa aproximadamente un 10% del consumo. La sustitución de las bombillas tradicionales por LED, que consumen un 75% menos, representa para la eficiencia energética una oportunidad bastante factible. (Hernandez, 2018)

La tecnología LED es mucho más compleja que la de un bombillo incandescente, sin embargo, el analizar los diversos elementos que la componen facilitará entender el funcionamiento de ésta.

Los componentes principales de la iluminación LED incluye:

- LED: semiconductor de tipo diodo que emite luz cuando circula corriente a través de él.
- Componente LED: es el sustrato y la unidad óptica primaria del conjunto de iluminación.
- Protege al semiconductor y conduce el calor generado desde el LED a los sistemas de disipación.
- Módulo LED: conjunto de uno o más componentes LED con elementos ópticos, mecánicos y térmicos.
- Luminaria LED: sistema completo formado por un módulo LED, una carcasa, un reflector óptico, cableado, conectores, uniones, sistema de disipación del calor y, en la mayoría de los casos, el variador.

- Variador: dispositivo electrónico que puede convertir la energía eléctrica de una red eléctrica de CA de baja tensión en energía eléctrica de CC adecuada para la luminaria LED.

(Hernandez, 2018)

Los LED de luz blanca por primera vez fueron comercializados en 1996 como dispositivos luminosos. Ha ido evolucionando su rendimiento de manera acelerada; pasando de un rendimiento de 5 lm/W en un principio, a los 150 lm/W que hoy día representa.

Observando la evolución de sus predecesores a lo largo de la historia, los dispositivos LED se han convertido en la fuente de luz blanca con mejor rendimiento lumínico. Teóricamente el LED puede alcanzar valores rendimiento de hasta 260 lm/W, este valor ya está prácticamente alcanzado en laboratorios, donde se han observado valores de 250 lm/W.

Fuente: (LA EFICIENCIA DEL LED, 2015)

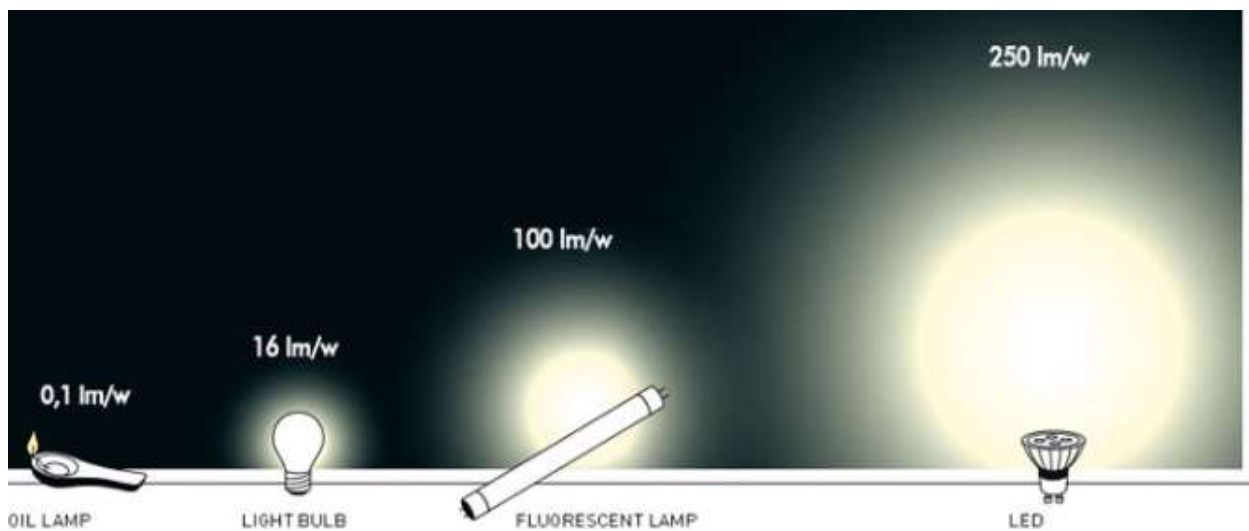


Ilustración 1. Comparación de la evolución-rendimiento de los dispositivos luminosos

Como se puede observar en la ilustración 1, la lámpara de aceite fue uno de los primeros dispositivos luminosos inventados con un rendimiento muy bajo de 0.1 lm/W, este dispositivo actualmente está obsoleto. En el siglo XIX, en la década de los 80, nace la bombilla o light bulb

que actualmente está prácticamente prohibido su uso y comercialización; con un rendimiento de 16 lm/W, un valor no muy alto comparado con el de su descendiente, la lámpara fluorescente que empezó a brillar con un rendimiento de 50 lm/W, sin embargo, 60 años después este valor se logra duplicar alcanzando un valor de 100 lm/W y por último y más actual el LED con un rendimiento de 250 lm/W.

El sorprendente y enorme progreso que ha experimentado la tecnología LED en cuanto a eficiencia, flexibilidad y posibilidades de aplicaciones se refiere, va acompañado de una historia de éxito económico de igual manera sorprendente. Se puede destacar que en el 2010 las soluciones LED representaban el 10% del mercado de iluminación global con una proyección del 50% para el año 2015. En el 2020 se espera un auge para la era del LED, con una representación en el mercado del 90%. (LA EFICIENCIA DEL LED, 2015)

4.3.1 EFECTOS DE LA ILUMINACIÓN LED EN LA CALIDAD DE ENERGÍA

Un efecto importante de la tecnología LED son los armónicos. Estos dispositivos de iluminación generan un nivel relativamente alto de distorsión armónica en la corriente.

Los armónicos en las formas de onda de la tensión y de la corriente son componentes de frecuencia de valor múltiplo de la frecuencia fundamental. Estos armónicos se generan cuando se conectan a la red cargas no lineales absorben corrientes no sinusoidales que al circular por la impedancia del sistema producen caídas de tensión y esta caída distorsiona la forma de onda suministrada. (Solá, 2017)

Sin embargo, para la regulación de emisión o inyección de estos niveles de distorsión a la red pública, existen normas internacionales que establecen un límite de emisión de armónicos dependiendo de los equipos y sistemas que se van a conectar a la red.

Norma	Descripción
IEC-61000-2-2	Compatibilidad electromagnética (CEM). <i>Parte 2-2: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes de suministro público en baja tensión.</i>
IEC-61000-2-4	Compatibilidad electromagnética (CEM). <i>Parte 2-4: Entorno. Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia en las instalaciones industriales.</i>
IEC-61000-3-2	Compatibilidad electromagnética (CEM). <i>Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada ≤ 16 A por fase)</i>
IEC-61000-3-4	Compatibilidad electromagnética (CEM). <i>Parte 3-4: Límites. Limitación de las emisiones de corrientes armónicas en las redes de baja tensión para equipos con corriente asignada superior a 16 A.</i>
IEC-61000-3-12	Compatibilidad electromagnética (CEM). <i>Parte 3-12: Límites para las corrientes armónicas producidas por los equipos conectados a las redes públicas de baja tensión con corriente de entrada > 16 A y ≤ 75 A por fase.</i>
IEEE-519-2014	<i>IEEE Prácticas y requisitos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica</i>

Ilustración 2. Normas internacionales sobre límites de emisión de armónicos

Fuente: (Armónicos: Problemática actual y su solución, 2017)

Como se detalla en la tabla de la ilustración 2, las normas más importantes van en función de los niveles de compatibilidad. Específicamente la norma IEC-61000-3-2 es la implementada para luminarias tipo LED.

“Afortunadamente, las luminarias LED consumen muy poca potencia, cada una solo inyecta unos miliamperios en el sistema de distribución, y esto minimiza el problema de la generación de armónicos. Además, los nuevos diseños de reguladores para luminarias introducen condensadores para corregir el factor de potencia que proporcionan un filtrado parcial de armónicos. Sea como fuera, si se produjeran armónicos al instalarse luminarias LED de alta densidad, puede considerarse la opción de eliminarlos con filtros activos de armónicos trifásicos de 4 hilos.” (Hernandez, 2018)

Por otro lado, debido al bajo consumo de potencia de los dispositivos LED, no tienen un impacto importante en como afectarían de manera global en el factor de potencia de instalación. (Armónicos: Problemática actual y su solución, 2017).

Generalmente, no se da importancia a esta materia dado que muchos sectores desconocen la problemática de los armónicos, como por ejemplo la distorsión que generan en la forma de onda al interactuar con la impedancia del sistema, acortando de esta forma la vida útil de motores y errores en la operación de equipos electrónicos.

Finalmente, se puede decir que la iluminación LED que trae consigo controladores con filtros para reducir los armónicos cumplen la función de no generar contaminación armónica en la red eléctrica obedeciendo a las magnitudes permitidas por la norma IEC. El principio de estos controladores es el uso de diferentes filtros. (Next City Labs, 2019).

Posibles soluciones para la reducción de la distorsión armónica:

- Sobredimensionamiento de conductores y pletinas. Utilizar un neutro para cada fase.
- Filtros pasivos como impedancias antiarmónicas formadas por elementos pasivos como inductancias y condensadores. Filtros activos.
- Utilización de diferenciales "superinmunizados" para soportar altas tasas de THD (Total Harmonic Distortion).
- Impedancias de alisado, conectadas a las cargas no lineales. Filtros en cargadores y alimentadores. (Canabal, 2013)

4.4 ILUMINACIÓN LED VS CONVENCIONAL PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Las lámparas de descargas de gas, en este caso vapor de sodio a alta presión generan luz mediante la creación de una descarga eléctrica a través de un gas ionizado, un plasma. La distribución espectral que tienen las lámparas de vapor de sodio a alta presión abarca todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada.

Entre las causas que limitan la vida útil de la lámpara además de la depreciación del flujo, se debe mencionar el fallo por fugas en el tubo de descarga y el incremento progresivo de la

tensión necesaria de encendido hasta niveles que pueden impedir su correcto funcionamiento. Estas lámparas tienen una vida útil de entre 20,000 y 24,000 horas a diferencia de las LED que tienen una vida útil de más de 80,000 horas. (Universidad de Coimbra, 2017)

La iluminación LED para alumbrado público ha logrado una popularidad inigualable en los últimos años, tanto, que la iluminación convencional ha reducido su predominio de varias luminarias tradicionales, si no es que han quedado ya obsoletas algunas.

En cuanto a la calidad de iluminación se refiere, los LEDS ofrecen una mejor intensidad luminosa y con un consumo de potencia bajo, se puede lograr una mejor iluminación que con las luminarias tradicionales.

Por otra parte, la iluminación LED aporta muchos beneficios como ser:

- Un mejor desarrollo de la vida nocturna.
- Emiten luz visualmente agradable.
- Mejor eficiencia energética y es amigable con el medio ambiente.
- Reducción de consumo energético de hasta 80%.
- Requiere poco mantenimiento.

En relación con la vida útil, las luminarias de calle convencionales pueden durar sólo alrededor de 5,000 horas, a diferencia de las luminarias tipo LED que tienen una vida útil que se sitúa en torno a las 80,000 horas. Considerando un funcionamiento a un ritmo de 12 horas diarias, vendría a suponer una durabilidad de aproximadamente 18 años. Esto hace que el coste de mantenimiento sea realmente bajo, cuando no nulo en lo que a este elemento se refiere. (Ecological Led Lighting, 2017).

4.5 UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE DIALUX

DIALux es un software gratuito desarrollado por el Instituto Alemán de Luminotecnia Aplicada (Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik) DIAL en 1994. (Software para el diseño de iluminación, 2008)

Este programa permite la creación de diseños de instalaciones de iluminación tanto interior como exterior. Además, permite trabajar en conjunto con el software de diseño de AUTOCAD mediante la opción de trabajar sobre un plano importado del mismo, solo es necesario cargar el diseño de la edificación en DIALux y sobre éste realizar el diseño de instalación de luminarias. Asimismo, realiza el cálculo energético de los sistemas de iluminación para cerciorar que se cumplen las normas vigentes a nivel nacional e internacional.

Además, una de sus funciones principales es la de realizar la distribución de flujo luminoso que producen las luminarias lo cual es esencial en los diseños de iluminación.

Un ejemplo de esto se puede observar en la ilustración 3 la cual representa la distribución de luz de luminarios tipo LED.

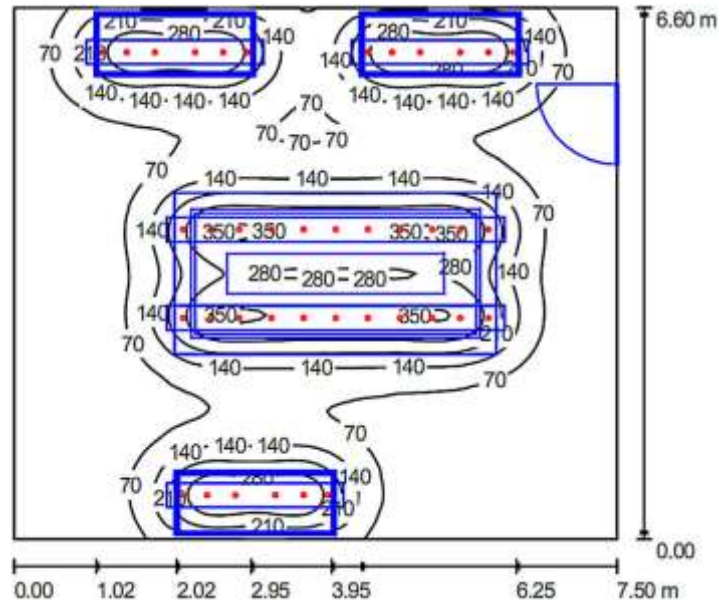


Ilustración 3. Distribución de flujo luminoso de luminarias tipo LED

Fuente: (Kayik, Oral, & Topuz, 2017)

V. METODOLOGÍA

En este capítulo se aborda la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación. En este apartado se presentan las herramientas utilizadas para llevar a cabo el estudio, así como también las actividades necesarias que se realizaron para el desarrollo de éste.

5.1 ENFOQUE

El enfoque empleado en la metodología es de carácter cuantitativo ya que mediante la recolección de datos se probará hipótesis basada en un balance energético que se realiza con datos de consumo de energía, potencia, horas de uso, costos por kW y kWh, que servirá para realizar una comparación de ahorros y consumo entre la tecnología de lámparas LED y las lámparas tradicionales

5.2 HIPÓTESIS

H₁: Las lámparas de vapor de sodio tienen mayor factibilidad técnica y económicamente dado que su inversión inicial y costos de operación y mantenimiento es menor a la de lámparas LED.

H₂: Las lámparas de tecnología LED son más viables técnica y económicamente pese a su alto costo de inversión inicial, ya que reduce el consumo en un 80% aproximadamente y trae consigo ahorro monetario y un costo de operación y mantenimiento casi nulo.

5.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se muestran a continuación las variables de investigación involucradas en el desarrollo del estudio. Se presentan las variables dependientes y cómo son afectadas por las variables independientes.

5.3.1 VARIABLES DEPENDIENTES

- Energía
- Ahorros
- Costos de operación y mantenimiento
- Potencia de las lámparas

5.3.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Vida útil de las lámparas
- Nivel de iluminación requerido
- Eficiencia energética

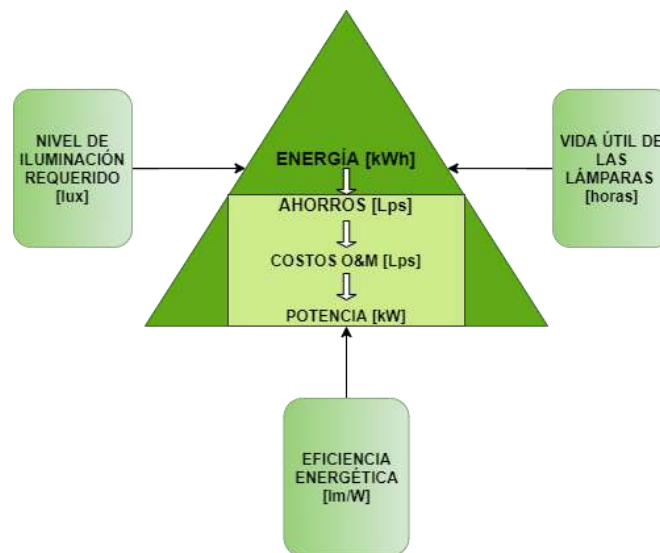


Ilustración 4. Variables de investigación

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 4 se muestran las variables con sus dimensiones involucradas en la investigación

Como se observa, los ahorros son una variable dependiente que van en función de los costos de operación y mantenimiento que a su vez son función de la potencia de las luminarias, puesto que dependiendo de cuánta potencia en kW representen el total de lámparas así será el costo de operación y mantenimiento.

La potencia es función de los niveles de iluminación requeridos, dado que dependiendo de los lúmenes por Watts que sean requeridos, esa será la potencia total que representarán las lámparas.

Un aspecto fundamental es la potencia de las lámparas, ya que la potencia es uno de los factores principales para poder determinar el consumo total de energía de las luminarias, y este consumo permitirá determinar cuánto es el ahorro que se obtendrá. La vida útil y los costos por operación y mantenimiento son factores que afectan de igual manera el consumo de energía, ya que para hacer una proyección de consumo son necesarios dichos datos.

La eficiencia energética, la vida útil y el nivel de iluminación son variables independientes que tienen efecto en las variables dependientes.

5.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Como primer punto, para el desarrollo del presente estudio se recolecta información referente el tema mediante entrevistas a ingenieros en la materia, libros, sitios de internet y artículos.

Uno de los parámetros importantes para el desarrollo de esta investigación son el consumo y tipo de luminarias que actualmente están en el alumbrado público de la zona, ya que con estos datos se podrá determinar el consumo y costo actual para poder hacer una comparación con la nueva tecnología y proyectar ahorros.

Por otra parte, la realización del diseño de instalación de iluminación óptimo para la zona de estudio es muy importante dado que mediante este diseño se podrá determinar el tipo y

potencia de las lámparas que se deberán instalar en la zona para lograr tener ahorros energéticos y monetarios.

La principal herramienta empleada para el desarrollo de la investigación es DIALux, es un programa que permitirá realizar el diseño de iluminación para el alumbrado público; este programa realiza el cálculo energético de los sistemas de iluminación para cerciorar que se cumplen con las normas de eficiencia energética vigentes a nivel nacional e internacional. De esta forma se podrá obtener un diseño óptimo y eficiente energéticamente apegado a las normas vigentes nacional e internacionalmente. Para poder determinar la calidad visual y si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad, visibilidad y eficiencia necesarios en una vía, se establecen una serie de parámetros que sirven como indicadores de calidad y eficiencia energética.

- Coeficiente de uniformidad global

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_m}$$

Ecuación 5 Fórmula para determinar el coeficiente global de uniformidad

Donde:

Lmin: Luminancia mínima de la calzada

Lm: Luminancia media de la calzada

- Coeficiente longitudinal de uniformidad

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}}$$

Ecuación 6 Fórmula para determinar el coeficiente longitudinal de uniformidad

Donde:

Lmin: Luminancia mínima de la calzada

Lmax: Luminancia máxima de la calzada

- Deslumbramiento perturbador

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.5}}$$

Ecuación 7 Fórmula para determinar el coeficiente de deslumbramiento perturbador

- Relación de entorno

SR se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada.

Además, este programa permite realizar una distribución uniforme del flujo luminoso que producen las luminarias, punto clave en un sistema de iluminación.

Para el análisis financiero, balance de energía de las lámparas y comparación de ambas tecnologías (tradicional y LED) se usa Microsoft Excel, dado que al ser una hoja de cálculo permite trabajar con todos los datos y valores numéricos que se involucran en el análisis.

5.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En este apartado se explica todo se describen las actividades, procesos realizados y como se harán los análisis para el desarrollo de la investigación.

5.5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Como primer paso se contactó con el encargado a nivel nacional de alumbrado público de ENEE.

Se obtuvo información del sistema de alumbrado público del boulevard de El Progreso, tal como tipo y potencia de dichas lámparas, tiempo de operación de éstas, distancia entre postes.

Asimismo, se visitó el bulevar para poder realizar un conteo del total de lámparas con las que cuenta el sistema de alumbrado público.

Después, se visitaron las oficinas de ENEE de El Progreso, Yoro y se entrevistó al ingeniero encargado y al técnico del sistema de alumbrado. Se obtuvieron datos de costos de operación y mantenimiento de las lámparas, costos de instalación.

5.5.2 DISEÑO EN DIALUX

Una vez recolectada la información, se procede a hacer el diseño de la instalación de iluminación en el software DIALux.

Este software realiza el cálculo energético de los sistemas de iluminación y se cerciora de que las lámparas tengan el nivel de iluminación requerido para el tipo de instalación para el cual se está haciendo el diseño y cumplan con las normas vigentes nacional e internacionalmente.

Una vez realizado el diseño, se procede a hacer un presupuesto de las lámparas y accesorios necesarios para cumplir lo establecido en el diseño.

Posteriormente, este diseño se comparó con el rendimiento del sistema de iluminación actual con el mismo nivel de iluminación requerido, pero con lámparas de vapor de sodio.

5.5.2 CÁLCULOS DE CONSUMO Y DATOS FINANCIEROS

Para poder realizar el análisis financiero se hizo una proyección tanto de consumo energético como de costos de las luminarias para poder calcular el ahorro que se tendrían con la nueva tecnología.

Seguidamente se procedió a realizar el análisis tomando en cuenta una serie de parámetros de entrada que permitieron poder hacer la corrida financiera del proyecto con y sin financiamiento. Los parámetros de salida son los que permiten determinar la viabilidad del proyecto.

5.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, en la tabla 1 se muestra el cronograma de actividades a realizar para el desarrollo y elaboración del proyecto de investigación.

Tabla 1. Cronograma de actividades

Actividades para la elaboración del Proyecto de Investigación	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Planteamiento del problema	■									
Marco teórico		■	■							
Metodología			■	■						
Diseño de instalación de iluminación en DIALux				■	■	■				
Análisis Tecno-económico				■	■	■				
Resultados y análisis				■	■	■				
Introducción y resumen							■			
Conclusiones, recomendaciones y artículo								■		
Informe final									■	
Pre-defensa										■

VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos una vez realizadas la simulación y el diseño del sistema de iluminación y el análisis tecno-económico.

6.1 CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL

Actualmente el bulevar de El Progreso que es objeto de estudio en esta investigación cuenta con 220 luminarias de las cuales 183 son de vapor de sodio a alta presión tipo cobra de 250W, 27 son LED de 150 W y 10 que están en mal estado y no están operando.

Para poder proyectar un consumo de energía de las lámparas que se utilizan en el alumbrado público del bulevar, tanto las de vapor de sodio a alta presión tipo cobra como los LEDS, es necesario determinar los factores incluidos en el cálculo de energía tal como lo muestra la tabla 2.

En esta tabla se muestran los datos de las lámparas que son necesarios para hacer el cálculo de consumo de energía. Las lámparas de vapor de sodio tienen una potencia de 250 W a diferencia de las LEDS que es de 150 W.

Tabla 2 Especificaciones de los tipos de luminaria

Tipo de Luminaria	Potencia [W]	Potencia [kW]	Tiempo promedio de operación [horas]	Factor de potencia	Días de operación al mes
Vapor de sodio a alta presión	250	0.25	12	0.95	30
LED	150	0.15	12	0.95	30

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se muestra el consumo de energía diario, mensual y anual del tipo de luminaria de manera individual. Para el cálculo de consumo de energía se utiliza la siguiente fórmula tomando los datos de la tabla 2.

$$E = P * t$$

Ecuación 8 Fórmula para cálculo de consumo de energía

Donde:

E= Energía [kWh]

P= Potencia [kW]

T= Tiempo [h]

Tabla 3 Consumo de energía de las luminarias

Tipo de luminaria	Consumo promedio diario [kWh/día]	Consumo promedio mensual [kWh/mes]	Consumo promedio anual [kWh/año]
Vapor de sodio a alta presión	2.85	85.5	1026
LED	1.71	51.3	615.6

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 3, existe una notable diferencia de consumo entre los dos tipos de lámparas. La lámpara de vapor de sodio consume más energía dado que su potencia es mayor y por ende el costo de energía de este tipo de lámparas es mayor que el de una lámpara LED que su consumo se reduce casi a la mitad del consumo de una lámpara de vapor de sodio.

Sin embargo, aproximadamente el 87% del sistema de iluminación del bulevar consta de lámparas de vapor de sodio de 250 W y el resto son lámparas LED de 150W y estas lámparas no generan ahorros significativos para el sistema y por esta razón el objetivo es cambiar todo el sistema en su totalidad con lámparas LED para poder obtener un mayor ahorro.

6.2 COSTOS DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL

En la tabla 4 se muestra el costo de energía de las lámparas que están instaladas en el alumbrado público del bulevar.

Se presenta el costo de energía de una lámpara de vapor de sodio a alta presión tipo cobra de 250 W y el de una lámpara LED de 150 W.

Tabla 4 Costos promedio de energía de las luminarias del bulevar

Tipo de luminaria	Costo de energía [L/kWh]	Costo promedio mensual de energía [L/mes]	Costo promedio anual de energía [L/año]
Vapor de sodio a alta presión	3.2912	281.40	3,376.77
LED	3.2912	168.84	2,026.06

Fuente: Elaboración propia

El costo mensual y anual de energía de una LED es menor que el de una lámpara de vapor de sodio, ya que esta reduce su costo en un 62%.

Sin embargo, como previamente se mencionó, los ahorros que tiene el bulevar con las 27 lámparas LED no es significativo para el sistema.

A continuación, en la tabla 5 se muestran los costos y consumo de energía del sistema de iluminación actual del bulevar. Se realizó el cálculo de costo y consumo de energía para las 183 lámparas de vapor sodio y las 27 lámparas tipo LED, la suma total de los costos del sistema de iluminación se muestra a continuación.

Tabla 5 Costos y consumos de energía del sistema de iluminación actual

SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL DEL BULEVAR							
Tipo de luminaria	Cantidad	Costo de energía en [L/kWh]	Consumo promedio diario de energía en [kWh/día]	Consumo promedio mensual de energía en [kWh/mes]	Consumo promedio anual de energía [kWh/año]	Costo promedio mensual de energía [L/mes]	Costo promedio anual de energía [L/año]
Vapor de sodio a alta presión	183	3.2912	521.55	15,646.5	187,758	L 51,495.76	L 617,949.13
LED	27		46.17	1,385.1	16,621.2	L 4,558.64	L 54,703.69
TOTAL			567.72	17,031.6	204,379.2	L 56,054.40	L 672,652.82

Fuente: Elaboración propia

Como lo muestra la tabla 5, el sistema en su totalidad tiene un consumo promedio anual de energía de 204,379.2 kWh y un costo promedio anual de L. 672,652.82 lempiras. Puesto que el objetivo de la investigación es reducir dicho consumo y costos, se realizó una propuesta de mejora utilizando lámparas LED con una menor potencia.

6.2.1 PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL BULEVAR DE EL PROGRESO

En la búsqueda de la reducción del consumo y costos de energía del sistema de iluminación actual del bulevar, se realizó una propuesta la cual detalla el consumo y los costos de energía que tendría el sistema de iluminación al cambiar las lámparas que actualmente están instaladas a lámparas LED de 135 W.

La tabla 6 a continuación muestra la propuesta de mejora realizada.

Tabla 6 Costos y consumo de energía del sistema con lámparas LED

PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL BULEVAR								
Tipo de luminaria	Potencia [kW]	Cantidad	Costo en [L/kWh]	Consumo promedio diario de energía en [kWh/día]	Consumo promedio mensual de energía en [kWh/mes]	Consumo promedio anual de energía en [kWh/año]	Costo promedio mensual de energía [L/mes]	Costo promedio anual de energía [L/año]
LED	135	200	3.2912	307.8	9,234	110,808	L 30,390.94	L 364,691.29
TOTAL				307.8	9,234	110,808	L 30,390.94	L 364,691.29

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, los resultados obtenidos en la tabla 6 muestran una considerable reducción del 64.8% en el consumo y costos de energía del sistema de iluminación. A parte la lámpara fue escogida siguiendo parámetros de eficiencia energética, por lo tanto, se tendría un sistema de iluminación de calidad, y eficiente energéticamente.

Esta reducción y ahorros se logran instalando un sistema de iluminación con 200 lámparas LED de 135 W de la marca AEM (American Electric Lighting).

6.3 DISEÑO EN DIALUX

El diseño en DIALux es uno de los factores más importantes para el desarrollo de la investigación.

El programa trabaja conforme a lo establecido en la norma estándar para iluminación de carreteras EN 13201:2015, la cual establece parámetros de eficiencia para iluminación vial.

6.3.1 DISEÑO DE ILUMINACIÓN ACTUAL

El sistema de iluminación actual del bulevar en casi su totalidad está instalado con lámparas de vapor de sodio a alta presión tipo cobra de 250 W cada una.

Se decidió realizar un diseño de iluminación con las lámparas que actualmente hay en el bulevar para representar el sistema actual y de esta forma poder compararlo con un diseño de iluminación con lámparas LED e identificar si está siguiendo o cumpliendo los parámetros de eficiencia de la norma.

La ilustración 5 y 6 muestra una vista de planta y una vista en 3D respectivamente del sistema de iluminación actual realizada con DIALux.

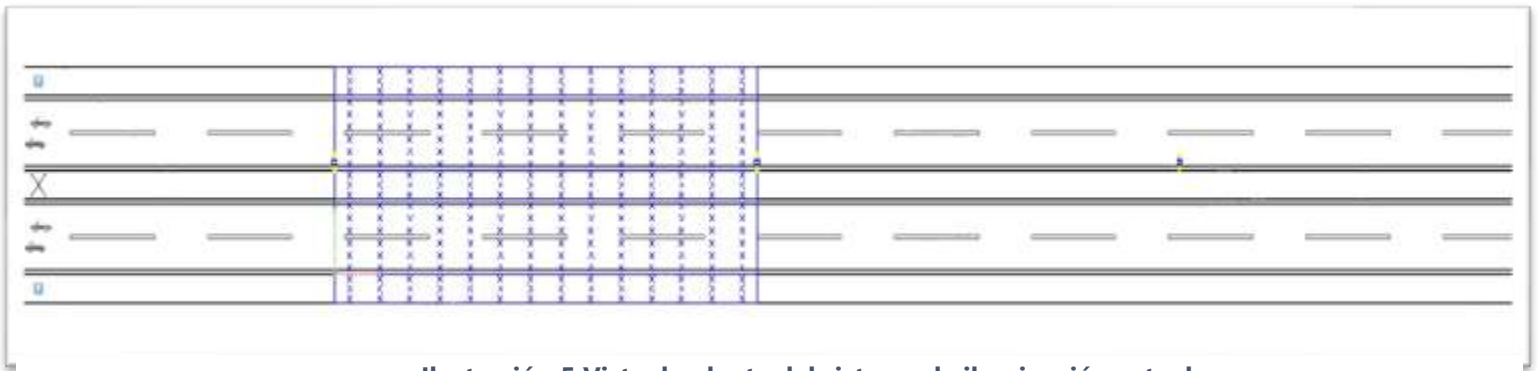


Ilustración 5 Vista de planta del sistema de iluminación actual

Fuente: Elaboración propia en DIALux

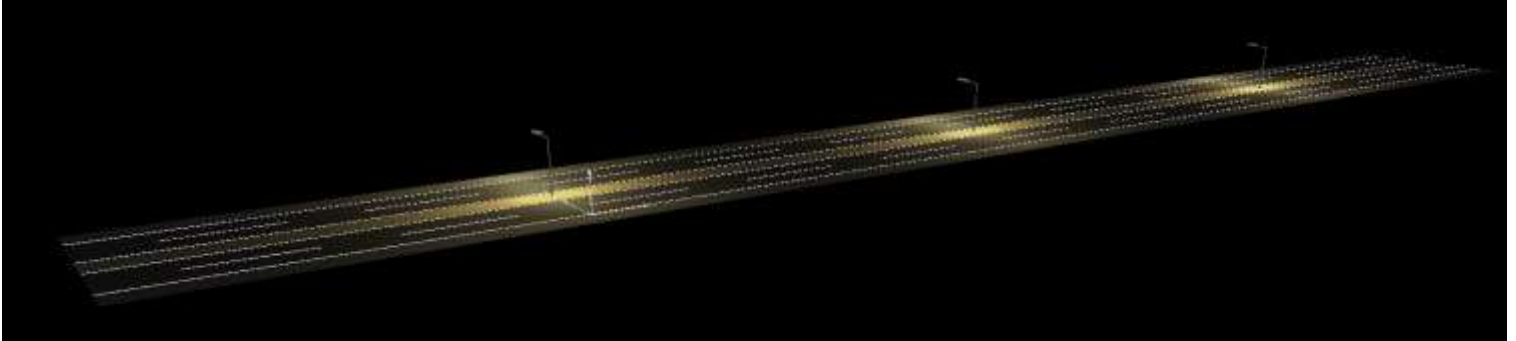


Ilustración 6 Vista en 3D del sistema de iluminación actual

Fuente: Elaboración propia en DIALux

En el recuadro de evaluación de la ilustración 7 se muestran los requisitos que se deben cumplir de acuerdo con la norma. Se obtuvieron los siguientes datos de eficiencia para el sistema de iluminación actual con lámparas de vapor de sodio de 250 W.

Resultados para campos de evaluación				
Factor de degradación: 0.83				
Calzada 2 (M5)				
Lm [cd/m ²]	Uo	UI	TI [%]	EIR
≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.30
✗ 0.30	✗ 0.20	✗ 0.10	✓ 6	✓ 0.84
Calzada 1 (M5)				
Lm [cd/m ²]	Uo	UI	TI [%]	EIR
≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	≥ 0.30
✗ 0.36	✗ 0.20	✗ 0.12	✓ 6	✓ 0.84
Resultados para indicadores de eficiencia energética				
Indicador de la densidad de potencia (Dp)		0.063 W/lxm ²		
Densidad de consumo de energía				
Organización: 115 SERIES 250W HPS TYPE 3 MED SEMI CUTOFF (1200.0 kWh/año)		2.0 kWh/m ² año		

Ilustración 7 Recuadro de evaluación de parámetros de eficiencia

Fuente: Elaboración propia en DIALux

Donde:

Lm [cd/m²]: flujo luminoso que una fuente de luz de una candela producirá por metro cuadrado.

UO [-]: coeficiente global de uniformidad que analiza el rendimiento visual en la vía.

UI [-]: coeficiente longitudinal de uniformidad que evalúa la comodidad visual.

TI [%]: incremento del umbral, que evalúa la pérdida de visión al producirse un deslumbramiento perturbador.

EIR [-]: coeficiente de iluminación en los alrededores que asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren sean visibles para los conductores.

Al realizarse la evaluación del sistema con las lámparas que actualmente están instaladas para confirmar si el sistema cumple con los parámetros de eficiencia requeridos, se puede observar en la ilustración 7 que la iluminación del bulevar no cumple con todos los requisitos de eficiencia según la norma.

Se concluye que el sistema actual de iluminación no está instalado siguiendo una norma de eficiencia energética para alumbrado público.

6.3.2 DISEÑO DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON LED

En este apartado se muestra la propuesta de mejora del diseño del sistema de iluminación con lámparas LED de 135 W cada una.

En la ilustración 8 se muestra una vista de planta del diseño del sistema de iluminación y en la ilustración 9 se muestra el mismo diseño en vista 3D.

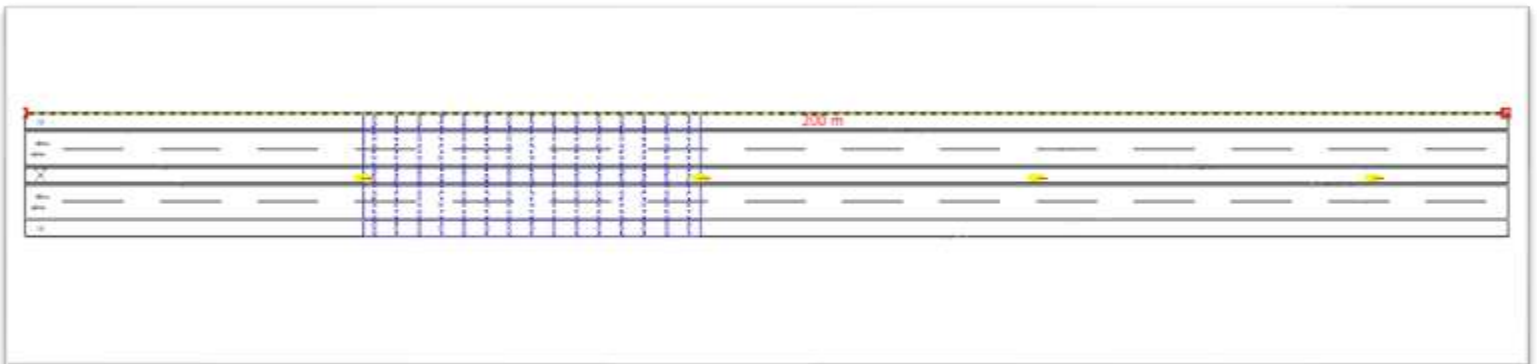


Ilustración 8 Vista de planta del diseño de iluminación con LED

Fuente: Elaboración propia en DIALux.

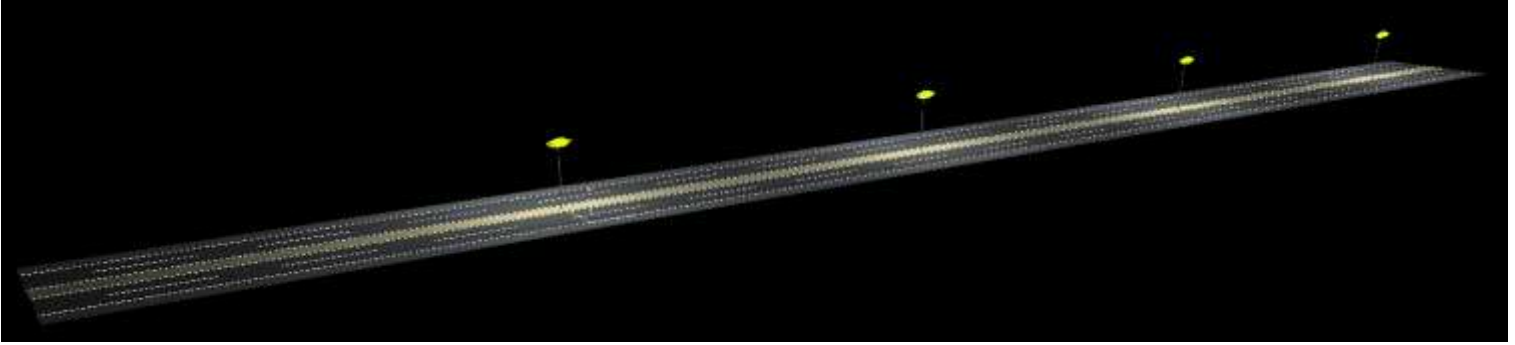


Ilustración 9 Vista en 3D del diseño de iluminación con LED

Fuente: Elaboración propia en DIALux.

El tramo de carretera que se puede en las dos ilustraciones anteriores es una representación del bulevar. El tramo es de 200 metros y el bulevar en su totalidad tiene una distancia de 10 kilómetros, entonces, de acuerdo con la representación que el programa brinda, cada 200 metros tendrán que estar ubicadas aproximadamente 4 mástiles con sus luminarias a una distancia entre mástiles de 45 metros.

En el recuadro de evaluación en la ilustración 10 se muestran las especificaciones de la norma y los resultados del diseño con lámparas de LED de 135 W.

Resultados para campos de evaluación
Factor de degradación: 0.92

Calzada 2 (M5)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.50	Uo ≥ 0.35	UI ≥ 0.40	Tl [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.46	✓ 0.74	✓ 0.78	✓ 2	✓ 0.79

Calzada 1 (M5)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.50	Uo ≥ 0.35	UI ≥ 0.40	Tl [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.03	✓ 0.66	✓ 0.71	✓ 2	✓ 0.79

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.024 W/lxm²

Densidad de consumo de energía

Organización: ATBM, Performance Package P40, Type 3, 4000K/5000K CCT (540.0 kWh/año) 3.4 kWh/m² año

Ilustración 10 Recuadro de evaluación de parámetros de eficiencia

Fuente: Elaboración propia en DIALux.

Donde:

Lm [cd/m²]: flujo luminoso que una fuente de luz de una candela producirá por metro cuadrado.

U0 [-]: coeficiente global de uniformidad que analiza el rendimiento visual en la vía.

UI [-]: coeficiente longitudinal de uniformidad que evalúa la comodidad visual.

TI [%]: incremento del umbral, que evalúa la pérdida de visión al producirse un deslumbramiento perturbador.

EIR [-]: coeficiente de iluminación en los alrededores que asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren sean visibles para los conductores.

Como se observa en la ilustración 10, el diseño del sistema de iluminación con lámparas LED cumple con todos los parámetros requeridos de acuerdo con la norma.

Se concluye que es un diseño óptimo con la lámpara y potencia adecuada para poder generar ahorros energéticos y costos cumpliendo con los requisitos estipulados por la norma.

6.4 ANÁLISIS FINANCIERO

Para realizar un análisis financiero se necesitan ciertos parámetros de entrada para poder iniciar la corrida financiera y obtener resultados que determinaran la factibilidad del proyecto. Dichos parámetros se muestran a continuación en la tabla 7.

Tabla 7 Parámetros de entrada para el análisis tecno/económico

PARÁMETROS DE ENTRADA	
Lámparas instaladas [-]	200.00
Costo unitario de lámpara [L]	7,211
Costo unitario de instalación de luminaria [L]	3000
Costo total de desinstalación de luminarias actuales [L]	186,900
Tasa de inflación [%]	1.5
Tarifa alumbrado público [L/kWh]	3.2912
Incremento en tarifa anual [%]	1.5
Factor de degradación de lámpara [-]	0.83
Costo total de inversión [L]	2,229,000
Inversión fondos propios [%]	30
Inversión fondos propios [L]	668,700
Deuda [%]	70
Deuda [L]	1,560,300
Tasa de interés préstamo [%]	8.5
Plazo de préstamo [años]	10
Factor de recuperación de capital [-]	0.15
Vida útil de luminarias [años]	22
Vida útil de luminarias [horas]	100,000

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que los costos considerados para calcular el costo de inversión total fueron el costo unitario de la lámpara LED de 135W, costo unitario de instalación de la lámpara y costo total de desinstalación de las lámparas que actualmente están instaladas en el bulevar, este último se detalla en la tabla 8.

En cuanto a costos por operación y mantenimiento, se determinó que dichos costos son nulos ya que las probabilidades de que una lámpara se dañe son aproximadamente solo del 1-2%. (Mejia & Sanchez, 2020)

Tabla 8 Costos de desinstalación de lámparas

COSTOS DE DESINSTALACIÓN DE LUMINARIAS ACTUALES DEL BULEVAR			
Tipo de lámpara	Cantidad	Costo unitario de desinstalación [L]	Costo total de desinstalación [L]
Vapor de sodio 250W	183	L 800.00	L 146,400.00
LED 150 W	27	L 1,500.00	L 40,500.00
TOTAL		L 2,300.00	L 186,900.00

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran un ahorro de energía promedio anual de 93,571.20 kWh/año y un ahorro monetario promedio anual de L. 307,961.53 y un retorno de inversión de 7 años con la implementación del sistema de iluminación con lámparas LED de 135 W con una vida útil de 22 años aproximadamente. A continuación, se muestra una tabla con dichos datos.

Tabla 9 Análisis de retorno de inversión y ahorros

Ahorro energía al año [kWh/año]	93,571.20
Ahorros al año [L]	L 307,961.53
Inversión [L]	L 2,229,000.00
Retorno de inversión [años]	7.24

Fuente: Elaboración propia

A partir del flujo acumulado del ahorro se puede establecer un gráfico representando el periodo de retorno de inversión como se muestra en la ilustración 11.

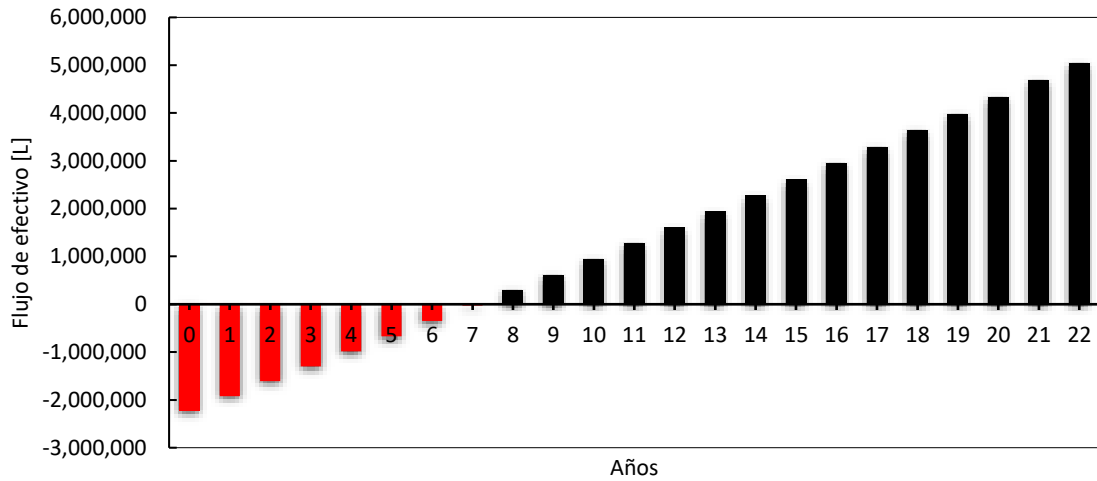


Ilustración 11 Flujo de efectivo

Fuente: Elaboración propia

La ilustración 12 muestra un gráfico representativo de los ahorros que tendría el proyecto año con año a lo largo de su vida útil. Teniendo en promedio un ahorro de L. 307,961.53 al año.

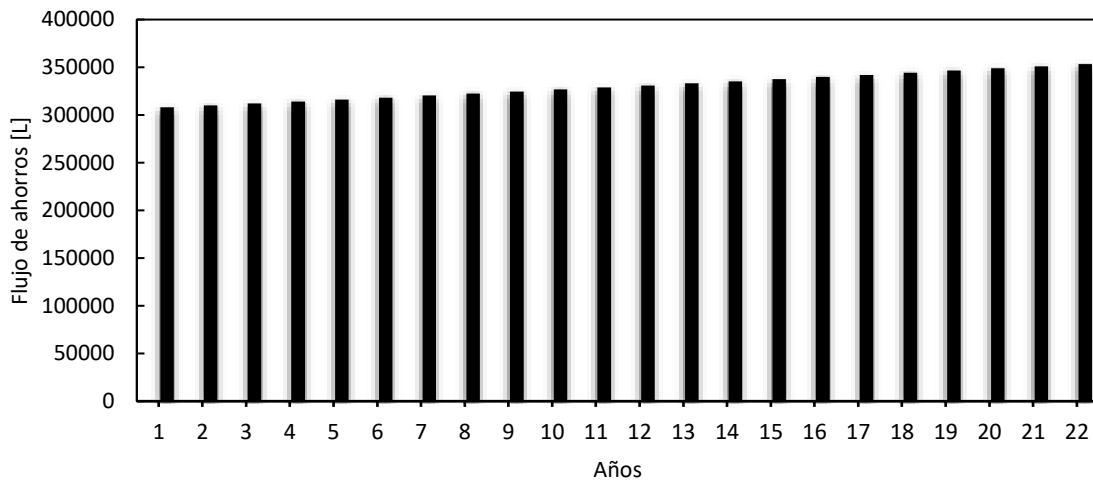


Ilustración 12 Promedio de ahorros anuales

Fuente: Elaboración propia

VII. CONCLUSIONES

Este estudio está enfocado en la comparación de eficiencia energética y ahorros entre el sistema de iluminación actual del bulevar de El Progreso y un sistema de iluminación LED con un diseño realizado mediante DIALux, un software de iluminación, por lo que la comparación del sistema actual se realizó haciendo proyecciones promedio de consumos y costos. La investigación presentada logró determinar el sistema de iluminación más favorable para el bulevar que conduce de El Progreso, Yoro hacia La Lima, Cortés a partir de un diseño realizado mediante un software de iluminación llamado DIALux, un análisis tecno-económico y una comparación entre el sistema que existe actualmente con lámparas de vapor de sodio de 250 W y uno con lámparas LED de 135W que es el tipo de lámpara de la propuesta de mejora. La investigación concluye con los siguientes resultados:

1. El diseño de iluminación eficiente para el bulevar que conduce de la ciudad de El Progreso a La Lima, son 200 lámparas de 135W y un flujo luminoso de 17400 lúmenes cada lámpara y a una distancia entre mástiles de 45 metros.
2. Se concluye que el sistema de iluminación propuesto con lámparas LED de 135W representa un ahorro de energía promedio de 93,571.20 kWh al año y un ahorro monetario promedio de L. 307,961.53 al año esto equivale a ahorros del 64.8% con respecto al sistema de iluminación actual con lámparas de vapor de sodio. El rendimiento de la lámpara LED propuesta es de 128 [lm/W] con respecto a la lámpara de vapor de sodio que es de 69.6 [lm/W].
3. El análisis financiero realizado para el proyecto de reemplazo de lámparas de vapor de sodio por lámparas LED muestra un beneficio/costo de 1.74 lo que significa que el proyecto se acepta dado que es mayor a 1. Con un retorno de la inversión de 7 años y con una vida útil del proyecto de 22 años aproximadamente.
4. Se encontró que las actividades realizadas por la ENEE instalando lámparas LED en el alumbrado público no se han efectuado siguiendo una normativa de alumbrado público puesto que en Honduras no existe tal normativa. Tampoco se ha llevado a cabo la instalación de estas lámparas realizando un diseño previo que se apegue las

normas de eficiencia estándar vigentes. Sin embargo, los beneficios que se han obtenido ha sido una reducción en las pérdidas en distribución de 3 puntos a nivel nacional. (Molina, 2020).

5. Las técnicas de reducción de armónicos más aplicables para este estudio son el sobredimensionamiento de conductores y pletinas que sería la utilización de un neutro para cada fase y utilizar filtros pasivos como impedancias anti-armónicas.

La principal limitante de esta investigación es que no existe un registro del consumo y costos de energía específicamente del bulevar que fue seleccionado como área estudio. Por lo que la proyección de consumo y costos de energía se hizo mediante proyecciones promedio de estas. Otra limitante fue que no hay una copia de los planos del bulevar, por lo tanto, el diseño se realizó con una representación de un tramo de la carretera y posteriormente se hicieron proyecciones.

Este estudio tecno-económico del reemplazo de lámparas de vapor de sodio por lámparas LED permite que toda aquella persona o empresa interesada en evaluar la implementación de tecnología LED en alumbrado público para un bulevar o cualquier área de una ciudad de Honduras, conozca cuál es el diseño de iluminación más conveniente para llevar a cabo el reemplazo y los ahorros que trae consigo.

VIII. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda la utilización de un software de iluminación que se cerciore de que se cumplen las normas de eficiencia vigentes y de esta forma tener un diseño energéticamente eficiente para el alumbrado público.
- Se recomienda la implementación de 200 lámparas LED de 135 W para poder cumplir con los indicadores de eficiencia energética.
- Se recomienda un costo/beneficio del proyecto mayor a 1 para que este pueda ser aceptado y tenga beneficios.
- Se recomienda seguir una norma de iluminación para alumbrado público vigentes, como ser la norma EN 13201:2015
- Se recomienda el uso de filtros activos de armónicos trifásicos de 4 hilos y filtros pasivos como impedancias anti-armónicas.

IX. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

Este estudio tecno-económico del reemplazo de lámparas de vapor de sodio por lámparas LED permite que toda aquella persona o empresa interesada en evaluar la implementación de tecnología LED en alumbrado público para un bulevar o cualquier área de una ciudad de Honduras, conozca cuál es la metodología para poder tener diseño de iluminación eficiente para llevar a cabo el reemplazo y los ahorros que trae consigo.

X. BIBLIOGRAFÍA

- American Electric Lighting*. (s.f.). Obtenido de <https://americanelectriclighting.acuitybrands.com/>
- Armónicos: Problemática actual y su solución*. (09 de 03 de 2017). Obtenido de <http://circuitor.es/es/productos/destacados/4194-armonicos-problematICA-actual-y-su-solucion>
- Armstrong, T. (13 de octubre de 2013). Desafíos en electrónica para la implantación masiva de iluminación LEDs en instalaciones comerciales.
- Canabal, E. (29 de Octubre de 2013). *Gesternova: causas, consecuencias y soluciones de los armónicos*. Obtenido de <https://gesternova.com/los-armonicos-causas-consecuencias-y-soluciones/>
- CNE (Comisión Nacional de Energía). (2011). *ANÁLISIS PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO*.
- CREE. (2020). *Comisión reguladora de energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.cree.gob.hn/informe-trimestral-de-tarifas/>
- Delgado-Quiñonez, N. D. (2018). *Estudio de factibilidad para la implementación de un nuevo sistema de alumbrado público en Av. Olmedo de la ciudad de Esmeraldas*.
- DMX tecnologías. (s.f.). *Manual de alumbrado publico e iluminacion exterior con LEDS de alta densidad*. Obtenido de https://www.dmxledlights.com/docs/Manual_Alumbrado_Publico_con_LEDs_de_Alta_Intensidad.pdf
- Ecological Led Lighting. (2017). *sgt-total*. Obtenido de http://www.sgt-total.com/Luminarias_de_led_Vs_luminarias_%20convencionales_%20para%20alumbrado_publico.html

- EEH. (26 de Mayo de 2020). *EEH (Empresa Energía Honduras)*. Obtenido de <https://www.eeh.hn/es/ieventos/ver/93/comunicado-eeh-impacto-de-situacion-de-emergencia-en-el-indicador-de-perdidas-de-la-red-de-distribucion/>
- ENT, E. (2019). *TNA (Technology Needs Assessment)*. Obtenido de <https://tech-action.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/2/2013/12/ref28x08-35.pdf>
- Gabriel, C. (21 de septiembre de 2018). *Newspreneur*. Obtenido de <https://newspreneur.lat/innovacion-tecnologica/que-es-y-para-que-sirve-la-tecnologia-led/>
- Gomez, K. (07 de 04 de 2014). *El Heraldo*. Obtenido de <https://www.elheraldo.hn/metro/585793-213/alumbrado-publico-de-la-capital-de-honduras-compite-con-la-luz-solar>
- González Gómez, J. (2018). *Estudio de la implantación de tecnología LED en el alumbrado público exterior de la Robleda, puente San Miguel (Cantabria)*.
- Hernandez, J. (27 de Septiembre de 2018). *smartlighting*. Obtenido de <https://smartlighting.es/los-efectos-la-iluminacion-led-la-calidad-energetica/>
- Jorge, M.-V., Rojas-Moncayo, M., & Barreto-Calle, C. (2019). Uso eficiencia de energía eléctrica en iluminación pública en el Ecuador mediante LED.
- Kayik, I., Oral, B., & Topuz, V. (2017). *Smart indoor LED lighting design powered by hybrid renewable energy systems*. Estambul, Turquía.
- LA EFICIENCIA DEL LED. (02 de 06 de 2015). Obtenido de <http://www.iluminacionalve.com/la-eficiencia-del-led/#!prettyphoto/0/>
- Mejia, J., & Sanchez, J. (25 de Agosto de 2020). ENEE Alumbrado público. (E. Almendarez, Entrevistador)
- Mercader, C. (07 de octubre de 2019). Barcelona ha renovado 7.300 farolas con tecnología LED desde 2018. *20 minutos*.
- Molina, J. (02 de agosto de 2020). Alumbrado público. (E. Almendarez, Entrevistador)

Next City Labs. (23 de Julio de 2019). *Distorsion armónica en iluminación LED*. Obtenido de <http://www.nextcitylabs.com/Y105/distorsion-armonica-thd-en-iluminacion-led>

Rojas Mejía, L. A. (2016). *REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL DEL COMPLEJO DE PLAYA CLUB & HOTEL CONDOVAC LA COSTA EN PRO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA AUTOGENERACIÓN*.

Software para el diseño de iluminación. (2008). *Iluminet*. Obtenido de <https://www.iluminet.com/software-para-el-diseno-de-iluminacion/>

Solá, J. C. (2017). *Estudio y caracterización armónica de las lámparas fluorescentes compactas de baja potencia*. Barcelona.

Soy Digital. (2017). Honduras instala 100,000 luminarias LED en su alumbrado publico. *CONSTRUIR America Central y El Caribe*.

Universidad de Coimbra. (Julio de 2017). *Premium Light Pro*. Obtenido de http://www.premiumlightpro.es/fileadmin/es/3_Iluminacion_artificial_exterior.pdf

XI. ANEXOS

Anexos 1. Especificaciones técnicas de la lámpara LED



Consistent with LEED® goals & Green Globes™ criteria for light pollution reduction

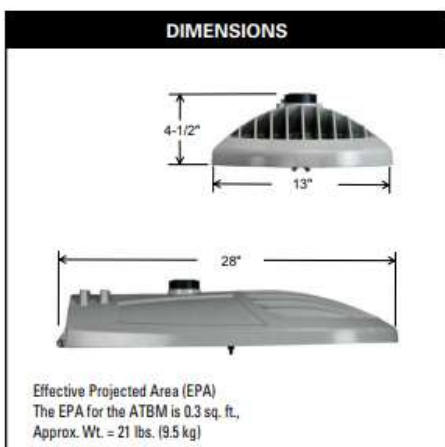
Autobahn Series ATBM Roadway

PRODUCT OVERVIEW



Applications:

- Residential streets
- Parking lots
- High speed roadways



STANDARDS

Color temperatures of $\leq 3000\text{K}$ must be specified for International Dark-Sky Association certification.
Rated for -40°C to 40°C ambient
CSA Certified to U.S. and Canadian standards
Complies with ANSI: C136.2, C136.10, C136.14, C136.31, C136.15, C136.37

Features:

OPTICAL

Same Light: Performance is comparable to 150W – 250W HPS
White Light: Correlated color temperature - 4000K, 70 CRI minimum, 3000K, 70 CRI minimum or optional 5000K, 70 CRI minimum.
IP66 rated borosilicate glass optics ensure longevity and minimize dirt depreciation. Unique IP66 rated LED light engines provide 0% uplight and restrict backlight to within sidewalk depth, providing optimal application coverage and optimal pole spacing.
Available distributions are Type II, III, IV, & V roadway distributions.

ELECTRICAL

Expected Life: LED light engines are rated $> 100,000$ hours at 25°C , L70.
Electronic driver has an expected life of 100,000 hours at a 25°C ambient.
Lower Energy: Saves an expected 40-60% over comparable HID luminaires.
Robust Surge Protection: Standard surge protection is 20kV/10kA "Extreme Level" per ANSI C136.2. An optional MOV pack provides 10kV/5kA "Enhanced Level."

MECHANICAL

Includes standard AEL lineman-friendly features such as tool-less entry, 3 station terminal block and quick disconnects. Bubble level located inside the electrical compartment for easy leveling at installation.
Rugged die-cast aluminum housing and door are polyester powder-coated for durability and corrosion resistance. Rigorous five-stage pre-treating and painting process yields a finish that achieves a scribe creepage rating of 8 (per ASTM D1654) after over 5000 hours exposure to salt fog chamber (operated per ASTM B117).
Mast arm mount is adjustable for arms from 1-1/4" to 2" (1-5/8" to 2-3/8" O.D.) diameter. The 2-bolt and optional 4-bolt clamping mechanism provide 3G vibration rating per ANSI C136.31.
The Wildlife shield is cast into the housing (not a separate piece).

CONTROLS

NEMA 3 pin photocontrol receptacle is standard, with the Acuity designed ANSI standard 7 pin receptacle optionally available.
Premium solid state locking-style photocontrol – PCSS (10 year rated life) Extreme long life solid state locking-style photocontrol – PCL1 (20 year rated life).
Extreme long life solid state locking-style photocontrol with on demand remote on/off control - PCCC (15 year rated life).
Optional onboard Adjustable Output module allows the light output and input wattage to be modified to meet site specific requirements, and also can allow a single fixture to be flexibly applied in many different applications.

Autobahn Series ATBM

Roadway

ORDERING INFORMATION

Series	Performance Packages	Voltage	Optics	Mounting
ATBM Autobahn LED Roadway	P05 9,700 lumens P10 11,000 lumens P20 12,800 lumens P30 15,500 lumens P40 17,400 lumens P50 18,700 lumens P60 20,000 lumens P70 21,500 lumens	MVOLT Multi-volt, 120-277V 347 347V 480 480V	R2 Roadway Type II R3 Roadway Type III R4 Roadway Type IV R5 Roadway Type V	(Blank) 2 Bolt Mounting 4B 4 Bolt Mounting

Options

Color Temperature (CCT)

(Blank) 4000K CCT, 70 CRI Min.
3K 3000K CCT, 70 CRI Min.
5K 5000K CCT, 70 CRI Min.

Paint

(Blank) Gray
BK Black
BZ Bronze
DDB Dark Bronze
GI Graphite
WH White

Surge Protection

(Blank) Standard 20kV/10kA SPD
MP MOV Pack

Miscellaneous Options

HSS House Side Shield
NL NEMA Label Indicating Wattage
XL Not CSA Certified – No Terminal Block Cover
UMR-XX 8" Horizontal Arm for Round Pole, Painted to match Fixture
UMS-XX 8" Horizontal Arm for Square Pole, Painted to match Fixture
UMR-GALV 8" Horizontal Arm for Round Pole, Painted to match Fixture
UMS-GALV 8" Horizontal Arm for Square Pole, Painted to match Fixture

Control Options

(Blank) 3 Pin NEMA Photocontrol Receptacle
P7 7 Pin Photocontrol Receptacle (dimmmable driver included) ¹
NR No Photocontrol Receptacle
AO Field Adjustable Output ³
DM 0-10V Dimmable Driver ²
PCSS Solid-State Lighting Photocontrol ⁴
PCLL Solid-State Long Life Photocontrol
PCCC Solid-State Long Life Photocontrol with remote control on/off ⁴
SH Shorting Cap

Packages

(Blank) Standard Pack
JP Job Pack (36/pallet)

Accessories

ATBMHSS House Side Shield
ATBMLTS Light Trespass Shield
RKATBMMVOLTSPD ATBM Acuity SPD, MVOLT
RKATBMHVSPD ATBM Acuity SPD, 347/480V
RKATBMMVOLTMP ATBM MOV Pack, MVOLT
RKATBMHVMP ATBM MOV Pack, 347/480V

Notes:

- 1 Dimmable Driver included. Not available with DM or NR.
- 2 Controls by others. Not available with P7 or AO.
- 3 Not available with DM.
- 4 MVOLT only.

AEL American Electric Lighting
 AEL Headquarters, 3825 Columbus Road, Granville, OH 43023
 www.americanelectricalighting.com
 © 2014-2020 Acuity Brands Lighting, Inc. All Rights Reserved. 03/11/20

Warranty Five-year limited warranty. Complete warranty terms located at: www.acuitybrands.com/CustomResources/Terms_and_conditions.aspx
 Actual performance may differ as a result of end-user environment and application. Specifications subject to change without notice.

Please contact your sales representative for the latest product information.

ATBM

Autobahn Series ATBM

Roadway

PERFORMANCE PACKAGE															
Performance Package	Distribution	Input Watts	3K (3000K CCT, 70 CRI)					4K/5K (4000K/5000K CCT, 70 CRI)					LLD @ 25°C		
			Lumens	LPW	B	U	G	Lumens	LPW	B	U	G	25k Hours	75k Hours	100k Hours
P05	R2	68	9,396	138	1	0	2	9,718	143	1	0	2	0.93	0.86	0.83
	R3		9,366	138	1	0	3	9,688	142	1	0	3			
	R4		9,030	133	1	0	3	9,340	137	1	0	3			
	R5		10,334	152	3	0	2	10,689	157	3	0	2			
P10	R2	81	10,635	131	2	0	3	11,299	139	2	0	3	0.93	0.86	0.83
	R3		10,675	132	2	0	3	11,302	140	2	0	3			
	R4		10,391	128	2	0	4	10,994	136	2	0	4			
	R5		11,504	142	3	0	2	12,086	149	3	0	2			
P20	R2	94	12,073	128	2	0	3	12,874	137	2	0	3	0.93	0.86	0.83
	R3		12,065	128	2	0	3	12,818	136	2	0	3			
	R4		11,946	127	2	0	4	12,525	133	2	0	4			
	R5		13,085	139	4	0	2	13,776	147	4	0	2			
P30	R2	118	14,637	124	2	0	3	15,514	131	2	0	3	0.93	0.86	0.83
	R3		14,631	124	2	0	3	15,452	131	2	0	3			
	R4		14,317	121	2	0	4	15,151	128	2	0	5			
	R5		15,775	134	4	0	2	16,685	141	4	0	2			
P40	R2	135	16,233	120	2	0	3	17,493	130	2	0	3	0.93	0.86	0.83
	R3		16,402	121	2	0	3	17,367	129	2	0	3			
	R4		15,911	118	2	0	5	17,008	126	2	0	5			
	R5		17,507	130	4	0	2	18,595	138	4	0	2			
P50	R2	152	17,541	115	2	0	3	18,748	123	2	0	3	0.93	0.86	0.83
	R3		17,677	116	2	0	4	18,712	123	2	0	4			
	R4		17,154	113	2	0	5	18,246	120	2	0	5			
	R5		19,008	125	4	0	2	20,088	132	4	0	2			
P60	R2	168	18,770	112	2	0	3	20,095	120	3	0	3	0.93	0.86	0.83
	R3		18,830	112	2	0	4	20,094	120	3	0	4			
	R4		18,369	109	2	0	5	19,648	117	2	0	5			
	R5		20,350	121	4	0	2	21,505	128	4	0	2			
P70	R2	190	20,190	106	3	0	3	21,565	114	3	0	3	0.93	0.86	0.83
	R3		20,142	106	3	0	4	21,504	113	3	0	4			
	R4		19,660	103	2	0	5	21,024	111	3	0	5			
	R5		21,988	116	4	0	2	23,076	121	4	0	2			

Note: Individual fixture performance may vary. Specifications subject to change without notice.

AEI American Electric Lighting
 AEL Headquarters, 3825 Columbus Road, Granville, OH 43023
 www.americanelectricleighting.com
 © 2014-2020 Acuity Brands Lighting, Inc. All Rights Reserved. 03/11/20

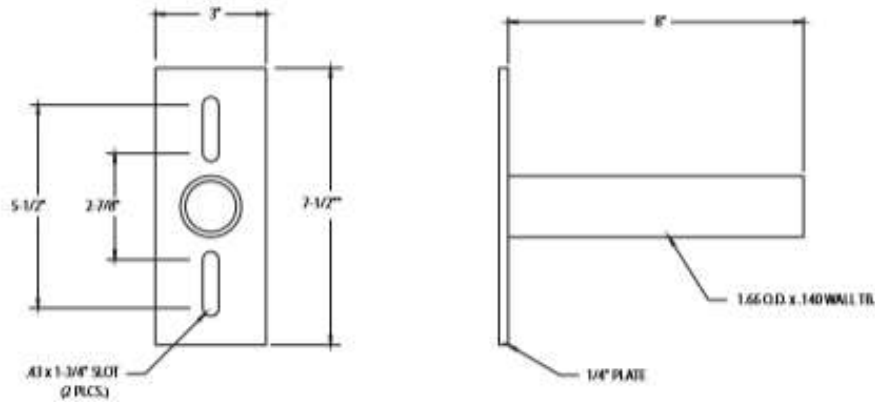
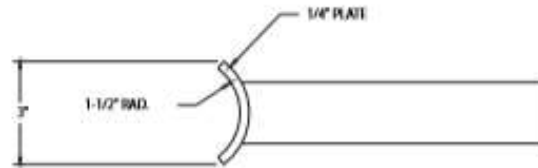
Warranty Five-year limited warranty. Complete warranty terms located at:
www.acuitybrands.com/CustomerResources/Terms_and_conditions.aspx
 Actual performance may differ as a result of end-user environment and application.
 Specifications subject to change without notice.

Please contact your sales representative for the latest product information.

ATBM

Autobahn Series ATBM Roadway

UMR POLE ADAPTOR RECOMMENDED FOR USE WITH POLES OF 4" DIAMETER OR SMALLER



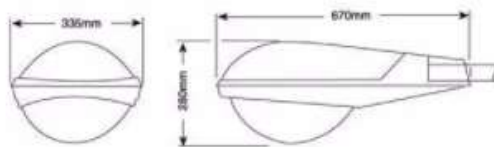
UMS POLE ADAPTOR

Anexos 2. Especificaciones técnicas de lámpara de vapor de sodio

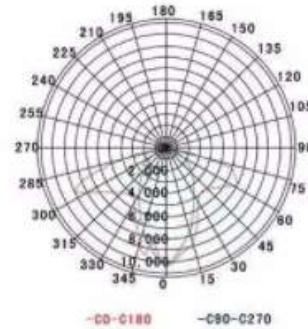


HFR-250A Max 250W

Borosilicate glass



- Arm dia. Max Φ 60mm
- Two option:
With or without photo
electric switch base



Descripción general

Detalles rápidos

Fuente de luz:	HID	Voltaje de entrada (...110-130 v 220-240 V
Flujo luminoso de l...	20000	CRI (Ra>): 70
Temperatura de tra...	-20°C-50°C	Curso de la vida de ...20000
Clasificación IP:	IP54	Garantía (año): 2
Lugar del origen:	Fujian, China	Marca: OEM
Número de Modelo:	HFR-250A	Ángulo de haz (°): 120
Uso:	Carretera, carretera principal en la ciudad, puente, Carretera e...	Color: Gris claro, Grey
Bombillas de ilumi...	Alta lámpara de sodio	Material: De fundición de aluminio
Difusor:	Vidrio borosilicato o vidrio templado	Titular de la lámpara: E40
Poder:	Max 250 W	El dia: 60mm
Tamaño:	670*335*280mm	

Modelo	HFR-250A	HFR-250A-1
Material	Carcasa de aluminio a presión	
Reflector	Reflector de aluminio	
Cubierta	Vidrio borosilicato o vidrio templado	
Tensión de	AC 110-130V/AC220-240V 50/60Hz	
Watts	Max 250 W	
Fuente de luz	HPS/MH	
Lamphoder:	E40	
Grado de protección:	IP65	
Popular Color de la superficie	Grey	
-Mástil:	8-12mm	
El brazo de diámetro:	60mm	
La fotocélula:	Con o sin fotocélula	
Servicio:	OEM/ODM	
Muestra:	Bienvenido	
Aplicación:	Carreteras, carretera principal en la ciudad, jardín, puente, Carretera en zona residencial, etc.	

Anexos 3. Resumen de resultados obtenidos del diseño de iluminación LED

Proyecto 1

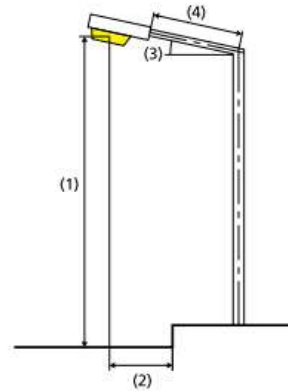
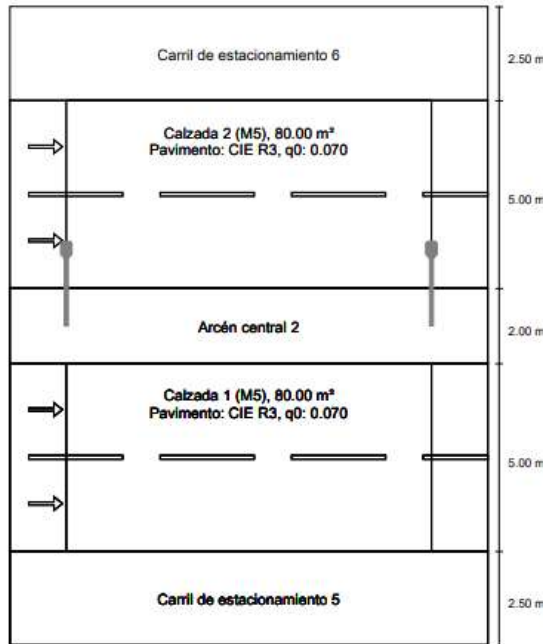
14/8/2020

DIALux

Calle 1: Alternativa 1 / Resultados de planificación

Calle 1 hacia EN 13201:2015

American Electric Lighting ATBM P40 XXXXX R3
4K/5K ATBM, Performance Package P40, Type 3,
4000K/5000K CCT



Lámpara:	1x
Flujo luminoso (luminaria):	17367.15 lm
Flujo luminoso (lámpara):	17367.15 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 135.0 W
W/km:	8370.0
Organización:	Arcén central
Inclinación del brazo (3):	0.0°
Longitud del brazo (4):	2.000 m
Altura del punto de luz (1):	7.500 m
Saliente del punto de luz (2):	-1.000 m

Resultados para campos de evaluación
Factor de degradación: 0.92

Calzada 2 (M5)

Lm [cd/m²] ≥ 0.50	Uo ≥ 0.35	UI ≥ 0.40	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.46	✓ 0.74	✓ 0.78	✓ 2	✓ 0.79

Calzada 1 (M5)

Lm [cd/m²] ≥ 0.50	Uo ≥ 0.35	UI ≥ 0.40	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.03	✓ 0.66	✓ 0.71	✓ 2	✓ 0.79

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp)	0.024 W/lx·m²
Densidad de consumo de energía	
Organización: ATBM, Performance Package P40, Type 3, 4000K/5000K CCT (540.0 kWh/año)	3.4 kWh/m² año

ULR:	-1.00
ULOR:	0.00
Valores máximos de la intensidad luminica	
a 70° y por encima:	577 cd/klm *
a 80° y por encima:	293 cd/klm *
a 90° y por encima:	0.00 cd/klm *
Clase de potencia luminica:	/

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Los valores de intensidad luminica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia luminica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.0