

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**ESTUDIO TÉCNICO, ECONÓMICO Y SOCIAL DEL
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CON
TECNOLOGÍA LED EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

Proyecto de grado presentada para la obtención del Grado de Licenciatura

POR: AGAR EDITH ORTUÑO QUISBERT

TUTOR: DENNIS ORLANDO BUSTILLOS TARQUI

LA PAZ – BOLIVIA

Septiembre, 2016

Dedicatoria

A Dios, por darme su Amor, sabiduría e inteligencia necesaria para terminar este proyecto de proyecto.

A mi mamá Ana, por nunca dejar de creer en mí.

A mi papá Jaime, por enseñarme la parte técnica y ser ejemplo de encontrar siempre una solución ingeniosa.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mis padres por sus consejos, valores y motivación constante.

A mi querida hermana Sandra, por animarme a seguir adelante siempre.

A los ingenieros Oscar Yujra, Dennis Bustillos y Wilfredo Ticona; tutores del presente proyecto de grado, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mi mejor amiga y co-líder Claudia, por sus consejos y cariño.

A mis líderes, Amanda y Mariela por su guía y apoyo incondicional.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

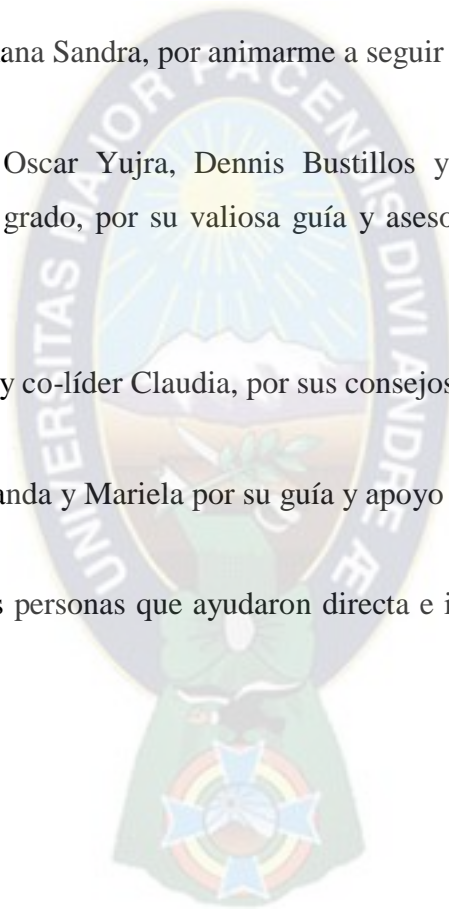
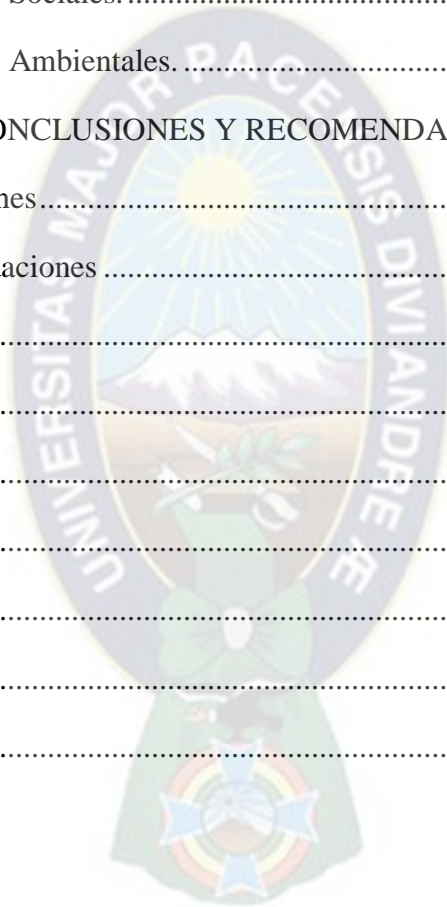


TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	9
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Definición del problema	6
1.3 Objetivos del proyecto.....	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Justificación	8
1.4.1 Justificación Académica.....	8
1.4.2 Justificación Técnico-Económico-Social	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 Conceptos básicos de luminotecnia.....	11
2.2 Alumbrado público.....	16
2.3 Partes de la luminaria tradicional HID (Descarga de Alta intensidad).....	17
2.4 Partes de la luminaria LED.....	18
2.5 Fuentes Luminosas.....	19
2.6 Luminarias.....	22
2.6.1 Características fotométricas de las luminarias.....	24
2.7 Localización de las luminarias.....	27
2.7.1 Clases de iluminación.....	31
CAPÍTULO III METOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE INGENIERÍA EN ALUMBRADO PÚBLICO.....	32
3.1 Métodos de cálculo de iluminancia promedio y coeficiente de uniformidad	36
3.1.1 Método europeo de los 9 puntos.....	36

3.1.2	Método del coeficiente de utilización.....	38
3.1.3	Cálculos computarizados de iluminancia	40
CAPÍTULO IV SITUACIÓN ACTUAL DE LA CIUDAD DE LA PAZ.....		38
4.1	Situación del alumbrado público en la ciudad de La Paz.	42
4.2	Potencia Nominal y Real de las luminarias.	45
4.3	Disposiciones de las luminarias sobre las vías más importantes del alumbrado público en la ciudad de La Paz.....	46
4.4	Costo de la energía eléctrica del alumbrado público en la ciudad de La Paz. 55	
CAPÍTULO V INGENIERÍA DEL PROYECTO		52
5.1	Cómputos de alumbrado público con lámparas LED	57
5.2	Comparación de criterios de control de la situación sin proyecto y con proyecto LED	68
CAPÍTULO VI ESTUDIO TÉCNICO.....		65
6.1	Luminaria viaria Vapor de NA 250 W.	70
6.2	Luminaria viaria LED 150 W.	72
6.3	Comparación de las características técnicas de luminarias tecnología LED y Vapor de NA.	73
6.3.1	Consumo de energía.	73
6.3.2	Flujo Luminoso	75
6.3.3	Temperatura de color.....	76
6.3.4	CRI	77
6.3.5	Diámetro del brazo metálico.	78
CAPÍTULO VII ESTUDIO ECONÓMICO		76

7.1	Estudio Económico.....	81
7.1.1	Análisis Costo-Eficiencia.....	81
7.1.2	Comparación Económica Convencionales Vs LED.....	111
CAPÍTULO VIII BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES		116
8.1	Beneficios Sociales.....	119
8.2	Beneficios Ambientales.....	123
CAPÍTULO IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		119
9.1	Conclusiones.....	128
9.2	Recomendaciones.....	130
BIBLIOGRAFÍA.....		123
ANEXO A.....		125
ANEXO B.....		127
ANEXO C.....		123
ANEXO D.....		134
ANEXO E.....		139
ANEXO F.....		142



RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto de grado es mostrar la eficiencia energética del alumbrado público en la ciudad de La Paz utilizando la tecnología LED. Se realizó un análisis comparativo para mostrar la diferencia entre LED y la iluminación convencional. Este Análisis ayudará a tomar decisiones sobre políticas de eficiencia energética, llevándonos a la modernización en iluminación para el alumbrado público.

Se realizó mediciones fotométricas como iluminación media y uniformidad en algunas calles y avenidas de la ciudad de La Paz, esto con el propósito de evaluar contra los criterios de control de la norma NB 1412001:2. Posteriormente se cargó en el software Ulysse las características de las vías según su disposición, el cual dio resultados de conformidad con las luminarias LED.

En el primer capítulo se describe los antecedentes del alumbrado público, se plantea el problema, se establece el objetivo general y los objetivos específicos, así como la justificación. El segundo capítulo refiere al marco teórico y la importancia de los conceptos luminotécnicos. En el tercer capítulo se expone la metodología para el cálculo de ingeniería de alumbrado público. En el cuarto se expone la situación actual del alumbrado público de la ciudad de La Paz. En el quinto capítulo se muestra la ingeniería del proyecto, indicando los resultados del software Ulysse. En el sexto capítulo se desarrolla la evaluación técnica, haciendo una comparación de características técnicas de luminarias convencionales como también de luminarias LED. En el séptimo capítulo se presenta el estudio económico de las luminarias y el análisis costo eficiencia. En el octavo capítulo se muestra los beneficios tanto ambientales como sociales del proyecto. Y en el noveno y último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que se llegaron con el estudio.

Palabras claves: LED, características fotométricas, CAE, disposiciones, percepción.

Summary

The main objective of this grade project is to show the efficiency of public lighting in the city of La Paz by using LED technology. A comparative analysis was performed to show the difference between LED and conventional lighting. This analysis helps to make decisions about energy efficiency policies, leading to modernization in lighting for street lighting.

Photometric measurements like average illuminance and uniformity were realized in some streets and avenues in La Paz city, this with the purpose of evaluating against criteria control standard NB 1412001:2. Subsequently it was loaded into the software Ulysse, which gave good results in accordance with LED lights.

The first chapter was described the antique street lighting, then the problem arises, the general objective and specific objectives, and the justification is set. The second chapter concerns the theoretical framework and the importance of the lighting concepts. In the third chapter was exposed the methodology for the calculation of lighting engineering. In the fourth chapter exposes the current state of public lighting in the city of La Paz. In the fifth chapter shows the project engineering, stating the results of Ulysse software. In the sixth chapter develops the technical evaluation, comparing the technical characteristics of conventional lighting as well as LED lighting. In the seventh chapter presents economic study of the lights and the cost-efficiency analysis. In the eighth chapter, we find both environmental benefits and social benefits. In the ninth and final chapter presents the conclusions and recommendations reached by the study.

Keywords: LED, photometric characteristics, CAE, provisions perception

The background features a large, faded watermark of the seal of the University of Pinar del Río. The seal is oval-shaped and contains a sun, a mountain range, and a green ribbon with a blue cross. The Latin text 'UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS' is visible at the top and 'PINAR DEL RÍO' at the bottom of the seal.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



El servicio de Alumbrado Público es muy importante para la seguridad ciudadana y para proporcionar una adecuada visibilidad, que coadyuvará al normal desarrollo de las actividades de todos los ciudadanos cuando la luz del día sea insuficiente.

La adecuada iluminación en el servicio de alumbrado público, se constituye como un indicador de bienestar, seguridad, inclusión social, crecimiento y desarrollo para la ciudad. El alumbrado público es un medio necesario para prevenir y combatir la epidemia global de accidentes de tráfico, donde la oscuridad es un factor de riesgo que debe combatirse con esta herramienta valiosa.

En estos últimos años las fuentes de luz para el alumbrado público en el mundo está siendo reemplazado por la iluminación con tecnología led (Diodos Emisores de Luz) las cuales son más eficientes en comparación a las lámparas HID (Descarga de alta intensidad) convencionales y que además tienen una mayor vida útil, asimismo estas lámparas no utilizan el mercurio como fuente primaria de iluminación, la cual es contaminante para el medio ambiente. Es por eso que es importante realizar cualquier aporte que contribuya a reducir el consumo de energía eléctrica y de esta manera reducir las emisiones de CO₂ que tanto mal está haciendo a nuestro planeta tierra.

Por tal motivo el presente proyecto de grado se enfoca a tratar de reducir el consumo de energía eléctrica en el Alumbrado Público de la ciudad de la Paz, reemplazando las lámparas HID actualmente utilizadas en el alumbrado público por lámparas con tecnología Led, las cuales son más eficientes en comparación con las anteriores ya mencionadas y de ese modo contribuir con la reducción de CO₂ y Ozonos que se producen por la generación de energía eléctrica a través de plantas termoeléctricas.



1.1 Antecedentes

El Alumbrado Público de la ciudad de La Paz ha ido desarrollándose desde 1717 con antorchas que funcionaban con aceite¹. En aquel tiempo las autoridades españolas emitieron una serie de disposiciones instruyendo a la población paceña a iluminar sus calles. “En 1985 se instaló el sistema de alumbrado a gas de carbón que estuvo a cargo de la empresa de don Leónidas Fernández” (Cobee, 2007).

“En la navidad de 1896 la ciudad de La Paz vio por primera vez el alumbrado eléctrico cuando la familia Velasco alumbró las habitaciones de su chacarilla de Challapampa por medio de un generador de 50 lámparas, importado de New York, que requería para su funcionamiento, un flujo de 60 litros de agua por segundo”. (Cobee, 2007).

Dos años después, en 1898, La Paz se convirtió en la tercera ciudad de Sudamérica en contar con el servicio de alumbrado eléctrico, que fue implementado por el paceño Jorge Granier, quien creó la empresa Fábrica de Luz. En 1888 la empresa Fábrica de Luz pasó a manos de la compañía Farfán y Clavijo que inició la instalación de alumbrado público en la ciudad y para 1905, la empresa The Bolivian Rubber duplicó el servicio, para más tarde cambiar de nombre a Bolivian General.

En la década de los años 60, se mejoró el alumbrado público, comenzando por el centro de la ciudad y vías principales (Av. Montes, Mcal Santa Cruz, microcentro), instalándose luminarias por medio de simple y doble brazo, tirantes transversales, en los cuales se encontraban montadas luminarias con tres lámparas de tubos fluorescentes de 40 W y arranque directo.

¹ Historias de las fortunas de La Paz. (Nueva Economía, María Angélica y Ricardo Sanjinés Ávila, 2010, La Paz, pg 6)



En la década de los 80, la parte céntrica de la ciudad de La Paz estaba iluminada con luminarias de sodio y mercurio pero en las periféricas de la ciudad el alumbrado público estaba iluminado con lámparas incandescentes. En ese entonces los encargados del alumbrado público eran la empresa COBEE (Compañía Boliviana de Energía Eléctrica) y H. Alcaldía Municipal de La Paz.

En la gestión 2009, se aprobó la actual Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, en la que se establece en el Art. 302 parágrafo I, inc. 30 que es competencia exclusiva de los gobiernos municipales autónomos, en su jurisdicción: “Servicio de alumbrado público de su jurisdicción”²

Actualmente el gobierno Autónomo Municipal de La Paz (GAMLP) es la entidad responsable de la Administración, Operación y Mantenimiento del servicio de Alumbrado Público instalado en vías de circulación y espacios de uso público irrestricto, que por sus características o seguridad general, deben permanecer iluminados cuando la luz natural sea insuficiente.

Si bien el GAMLP, a través de la Unidad de Servicios Eléctricos (USE) realiza el mantenimiento, administración y operación del servicio de Alumbrado Público y la cual ha mejorado de gran manera la iluminación en las calles y avenidas, poco se ha hecho para reducir el consumo de energía eléctrica en el Alumbrado Público, debido a que no se cuenta con información suficiente que permita al Gobierno Autónomo Municipal de La Paz tomar decisiones de un cambio masivo de luminarias actualmente utilizadas en el Alumbrado Público por luminarias que sean más eficientes (Tecnología Led) y de esta manera reducir el consumo de energía eléctrica en el alumbrado público pero manteniendo los niveles de iluminación correspondientes a cada vía.

² Constitución Política del Estado 2009



En la gestión 2014 la Unidad de Servicios Eléctricos del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, realizó el cambio de luminarias HID por luminarias con tecnología Led en la Av. Mariscal Santa Cruz, con el objetivo de realizar pruebas piloto para determinar el tiempo de vida útil real y la reducción del flujo luminoso en el tiempo.

Sin embargo, no es suficiente realizar pruebas técnicas, lo que hace falta es realizar un estudio de diseño técnico de preinversión regido por el ministerio de planificación del desarrollo, y por el artículo 6 del reglamento básico de pre-inversión, herramienta que nos permita tomar decisiones y recomendar al GAMLPA acerca de la sustitución de luminarias tradicionales HID por luminarias con tecnología Led, y de esta manera a través del presente proyecto coadyuvar a tomar la decisión más acertada.

El presente trabajo de grado se elaboró con base en información de la unidad de servicios eléctricos del GAMLPA a cargo del Ing. Eddy Mamani JEFE UNIDAD USE. La elaboración de la evaluación técnica del proyecto de grado se realizó con la guía de los ingenieros de laboratorio USE: Ing. Oscar Yujra e Ing. Wilfredo Ticona, donde aportaron con sus conocimientos, experiencias e información acerca de la situación actual del sistema de alumbrado público, datos técnicos de las luminarias, manejo del software Ulyse, costos de mantenimiento y facturación.



1.2 Definición del problema

Cada año aproximadamente el 67,2% de la producción de electricidad del mundo proviene de plantas de combustibles fósiles, un (16,6%), proviene de las centrales hidroeléctricas, un (10,6%) proviene de centrales nucleares y un (5,6 %) proviene de otras formas de producción de energía (bioenergía, solar, eólica, geotérmica etc.)³

De toda esta producción de energía eléctrica se destina aproximadamente el 0,82 % (189.120.000 MWh/año) al Alumbrado Público mundial.⁴

En Bolivia del 100% (7.634.960 MWh) de la energía generada, un 28% (2.166.690 MWh) corresponde a la generación hidroeléctrica (generación a través del agua) y el otro 71% (5.449.720 MWh) corresponde a la generación termoeléctrica (generación a través de gas natural) y solamente el 1% (18.550 MWh) corresponde a generación eólica.⁵

Según la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad (AE), en el SIN (Sistema Interconectado Nacional) de Bolivia, aproximadamente se destina el 4.3% (329.751,56 MWh) al Alumbrado Público, porcentaje que es muy elevada en comparación al 0,82% de energía consumida en el mundo para el Alumbrado público.

En Bolivia el 71% de la energía generada es a través de centrales termoeléctricas, es por tal motivo que consideramos necesario todo aporte de ideas que permita reducir el consumo de energía eléctrica, ya que el elevado consumo de energía eléctrica 4.3% en el Alumbrado Público, hace suponer que no existen políticas de los municipios en cuanto a la eficiencia energética en el Alumbrado Público.

³ Key electricity trends (IEA STATISTICS, 2015)

⁴ World electricity consumption for lighting (Earth policy institute, 2011)

⁵ Memoria 2014 (AE,2014)



Se identifica el problema como una oportunidad para sacar provecho por medio de este proyecto, y no como falta de solución. Las luminarias en uso no han llegado al fin de su vida útil pero existe la posibilidad de que éstas sean reemplazadas para incorporar una tecnología más eficiente energéticamente. El sentido de este proyecto es el uso de tecnologías energéticamente más eficientes, el cual disminuye el consumo de energía eléctrica y el nivel de potencia contratada para un mismo nivel de iluminación, generando un beneficio económico por ahorros de costos de operación y mantenimiento.

La implementación de luminarias con tecnología led en el Alumbrado Público es una opción que nos permitiría reducir el consumo de energía eléctrica en este servicio, pero debemos conocer todas las cualidades y defectos, que nos permita la toma de una mejor decisión.

En el anexo A-1, se encuentra el mapa de los macro distritos de La Paz.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

- ❖ Evaluar técnica, económica y social, el reemplazo de luminarias de tecnología tradicional por luminarias con tecnología led en el Alumbrado Público de la ciudad de La Paz.

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Definir conceptos y términos luminotécnicos.
- ❖ Identificar tecnologías de las luminarias en el alumbrado público utilizadas actualmente en la ciudad de La Paz.
- ❖ Determinar la metodología para el cálculo de alumbrado público.
- ❖ Conocer la situación actual del alumbrado público en La Paz.
- ❖ Conocer la potencia real consumida por las luminarias del alumbrado público de La Paz.



- ❖ Conocer la clasificación de la iluminación en la ciudad de La Paz y que vías pertenece a cada clase de iluminación.
- ❖ Evaluar los términos luminotécnicos de la situación con proyecto led contra la norma NB 1412001-2.
- ❖ Analizar técnica, económica y socialmente el reemplazo del cambio de luminarias con tecnología HID a tecnología a Led.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación Académica

El presente proyecto de grado representa la oportunidad de poner en práctica los conocimientos y experiencia adquirida durante nuestra formación personal en la carrera de Ingeniería Industrial, para el desarrollo de este se apoyó en las siguientes materias:

- Física básica II, electrotecnia, electrónica y laboratorio: Se adquirió conocimientos importantes de la energía eléctrica, instalaciones eléctricas y conceptos de electrostática.
- Administración financiera, investigación de operaciones II e ingeniería de costos: Ayudaron a realizar la evaluación financiera y económica del proyecto.
- Preparación y evaluación de proyectos I y II: Brindaron herramientas para realizar el análisis económico y social del proyecto.
- Ingeniería Ambiental y desarrollo sostenible: La materia dio los conocimientos del medio ambiente, legislación ambiental, y herramientas que ayudaron a la realización de la ficha ambiental.



- Seguridad y Salud Ocupacional y laboratorio: Proporciono conocimientos en seguridad en instalaciones eléctricas, norma NB 777, grados de protección, teoría de la iluminación óptima y mediciones utilizando luxómetro.

Para la realización de este proyecto también se necesitó ampliar los conocimientos para la realización de la evaluación técnica, es por ello que se necesitó el soporte de temas como: luminotecnia, distribución de la energía eléctrica, tecnología eléctrica, dispositivos electrónicos, centrales de generación de energía eléctrica, funcionamiento de las partes de una luminaria, NB 1412001 entre otros.

La carrera de ingeniería industrial es flexible ya que nos da la posibilidad de desenvolvemos en diferentes ámbitos laborales, siempre buscando el diseño que nos lleve a la eficiencia en los procesos, reducción de costos, optimización de recursos y maximización de utilidades; es por ello que la realización de este proyecto tiene como objetivo la eficiencia energética en el alumbrado público de la ciudad de La Paz.

1.4.2 Justificación Técnico-Económico-Social

Debido al alto consumo de energía eléctrica en el Alumbrado Público en la Ciudad de La Paz es necesario realizar un estudio comparativo que pueda comprobar si las luminarias con tecnología Led son más eficientes que las luminarias tradicionales HID en el Alumbrado Público y de esta forma coadyuvar al GMLP al tomar políticas de eficiencia energética en el municipio de La Paz.

Asimismo se pretende conocer todas las ventajas y desventajas de las luminarias con tecnología Led, la cual nos ayudará a continuar con más estudios acerca de esta tecnología ya que si se incorpora esta tecnología en el Alumbrado Público de La Paz, se debe plantear y elaborar planes del mantenimiento de la nueva infraestructura del Alumbrado Público.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



Para poder entender el diseño lumínico correspondiente al Alumbrado Público, es necesario conocer conceptos básicos de luminotecnia, las cuales nos permitirán comprender mejor las características luminotécnicas del Alumbrado Público.

2.1 Conceptos básicos de luminotecnia.

- ❖ **La Luz:** Es la energía radiante que produce una sensación visual. Según su capacidad y ciertas propiedades. La luz visible está ubicada en el espectro luminoso entre las radiaciones ultravioleta e infrarroja, comprendida entre los límites de longitud de onda entre 380nm y 760nm. La primera corresponde al color violeta y la segunda al color rojo.⁶
- ❖ **Flujo Luminoso.** Se define como la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz por unidad de tiempo, en todas las direcciones.⁷ Se representa por la letra griega “ ϕ ” y su unidad es lumen (*lm*). Su expresión viene dada por:

$$\phi_L = \frac{dQL}{dt}$$

Dónde: ϕ_L = Flujo luminoso (*lm*).

dQL/dt = Cantidad de energía luminosa radiada por unidad de tiempo.

- ❖ **Rendimiento luminoso (Eficacia luminosa).** Indica el flujo luminoso que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Se representa por la letra griega ϵ y su unidad es el *lumen/vatio (lm/W)*. La expresión de la eficacia luminosa viene dada por:

$$\epsilon = \frac{\phi_L}{P} \text{ (lm/w)}$$

⁶ Electrotecnia (Alcalde, 2004)

⁷ NB 1412001-1



Donde:

ε = Eficacia luminosa.

P = Potencia activa (W)

- ❖ **Intensidad luminosa.** Se define como la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa misma dirección, medido en estereorradianes (sr). Siendo éste el ángulo formado entre el centro de una esfera de radio unitario y una porción de superficie de una unidad cuadrada de dicha esfera.

$$I = \frac{\phi_L}{\omega}; \quad \omega = \frac{S}{r^2}$$

Donde:

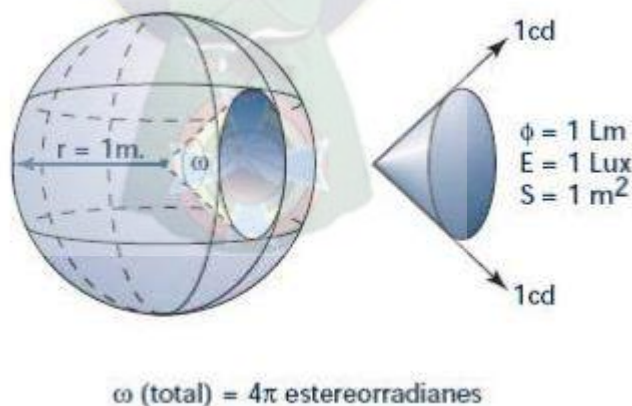
I = Intensidad luminosa (cd).

ϕ_L = Flujo luminoso (lm).

ω = Ángulo sólido (sr).

r = Radio de proyección (m)

FIGURA 2-1. Intensidad luminosa.



Fuente: Elaborado con base en datos de proyecto adaptación de alumbrado en ayuntamiento Coín.



- ❖ **Iluminancia:** Los niveles de iluminación se definen como la relación entre el flujo luminoso y el área de superficie a la cual incide dicho flujo. Se simboliza con la letra E y su unidad es el lux .⁸ Por tanto, su expresión queda así:

$$E = \frac{\Phi L}{S}$$

Donde:

E = Iluminancia (lux).

ΦL = Flujo luminoso (lm).

S = Superficie (m^2)

- ❖ **Luminancia (L):** La luminancia en un punto de una superficie en una dirección se interpreta como el cociente de la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado (cd/m^2). La luminancia puede expresarse como:

$$L = \frac{dI}{dA} * \frac{1}{\cos\theta}$$

- ❖ **Uniformidad.** La iluminancia proporcionada en una superficie determinada nunca será totalmente uniforme. Esto se debe a que siempre habrá diferencias de valores de iluminancia dentro del escenario visual iluminado. Para definir la uniformidad de los niveles de iluminación en un área, es necesario definir los factores que determinan las variaciones de iluminancia.
- ❖ **Temperatura de color (Tc).** La temperatura de color de una fuente lumínica es medida por su apariencia cromática y está basada en el principio según el cual, todos los objetos cuando aumentan su temperatura, emiten luz. El color de esa luz cambia dependiendo del incremento de la temperatura, expresada en grados *Kelvin* ($^{\circ}K$). A continuación se muestra como los colores de luz son

⁸ NB 1412001-1



clasificados:

TABLA 2-1. Apariencia del color según su temperatura.

Color de luz	Temperatura de color	Apariencia del color
Amarillento	1800-2500	Cálido
Blanco cálido	2600-3000	
Blanco neutral	3100-4100	Intermedio
Blanco frío	4200-6000	Frío
Blanco luz del día	6100-6500	

Fuente: Elaborado con base en datos del libro Electrotecnia de Alcalde.

- ❖ **Índice del Rendimiento del Color (IRC).** Es el índice que indica el nivel o el grado de precisión en que un objeto iluminado pueda reproducir su propio color real bajo la influencia de una fuente de luz. Cuando la luz incide sobre un cuerpo y éste genera un color prácticamente igual o idéntico al propio, entonces su IRC tendrá un valor cercano o igual a 100. Para la clasificación de distintas fuentes de luz, se ha instituido a la lámpara incandescente como patrón, ya que dicha fuente representa un IRC de 100 (muy bueno).

TABLA 2-2. Clasificación del IRC según su grado y apariencia.

Grado IRC	IRC	Apariencia
1	$IRC \geq 85$	Muy bueno
2	$75 \leq IRC \leq 85$	Bueno
3	$40 \leq IRC \leq 75$	Medio
4	$IRC \leq 40$	Nulo (monocromático)

Fuente: Elaborado con base en datos del libro Electrotecnia de Alcalde.

- ❖ **Protección IP:** Indica los grados de protección proporcionados por el envoltorio (elemento que proporciona la protección del material contra ciertas influencias externas y en cualquier dirección) contra el acceso a las partes peligrosas, contra la penetración del agua y para proporcionar una información unida a la referida protección.

La primera cifra característica está graduada desde 0 (cero) hasta 6 (seis) y a medida que va aumentando el valor de dicha cifra, éste indica que el cuerpo sólido que la envoltorio deja penetrar es menor.



TABLA 2-3. Grados de protección indicados por la primera cifra característica.

Cifra	Grado de protección	
	Primera cifra (Protección contra los cuerpos sólidos)	Segunda cifra (Protección contra los líquidos)
0	No hay protección	No hay protección
1	Protegidos contra los cuerpos sólidos superiores a 50 mm	Protegidos contra las caídas verticales de gotas de agua
2	Protegidos contra los cuerpos sólidos superiores a 12 mm	Protegidos contra las caídas de agua con una inclinación máx. de 15°
3	Protegidos contra los cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm	Protegidos contra el agua en forma de lluvia
4	Protegidos contra los cuerpos sólidos superiores a 1 mm	Protegidos contra las proyecciones de agua
5	Protegidos contra el polvo. (no hay depósito dañoso)	Protegidos contra los chorros de agua
6	Totalmente protegido contra el polvo.	Protegidos contra los embates del mar
7		Protegidos contra los efectos de la inmersión.
8		Protegidos contra la inmersión prolongada.

Fuente: Elaborado con base en la tabla 51 de la norma boliviana NB 777.

- ❖ **Protección IK:** Es un sistema de codificación para indicar el grado de protección proporcionado por el envoltorio contra los impactos mecánicos nocivos, salvaguardando así los materiales o equipos de su interior. El código IK se designa con un número graduado de cero a diez; a medida que el número va aumentando, indica que su resistencia al impacto es mayor.



TABLA 2-4. Grados de protección IK.

Grado IK	IK 00	IK 01	IK 02	IK 03	IK 04	IK 05	IK 06	IK 07	IK 08	IK 09	IK 10
Energía [J]	–	0,1 5	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20
Masa y altura de la pieza de golpeo	-	0,2 kg 70 mm	0,2 kg 100 mm	0,2 kg 175 mm	0,2 kg 250 mm	0,2 kg 350 mm	0,5 kg 200 mm	0,5 kg 400 mm	1,7 kg 295 mm	5 kg 200 mm	5 kg 400 mm

Fuente: Elaborado con base en la norma IEC 62262 (2002).

2.2 Alumbrado público.

La Norma Boliviana de Alumbrado Público NB 1412001-1 define al Alumbrado Público de la siguiente manera:

Es el servicio de iluminación de las vías de circulación pública y de espacios de uso público irrestricto, que por sus características o seguridad, general deben permanecer iluminados cuando la luz natural sea insuficiente.

De acuerdo al manual de suministro de energía eléctrica para el alumbrado público de DELAPAZ, existen 3 modalidades de suministro de energía, las cuales son:

- Red independiente (red exclusiva del GAML P)
- Red compartida con DELAPAZ y GAML P
- Red con conexión directa a la red de DELAPAZ



- **Sistema de alumbrado público:**

Comprende el conjunto de luminarias, redes eléctricas, transformadores de uso exclusivo y en general, todos los equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público, que no formen parte de las redes de uso general de sistema de distribución de energía eléctrica. (Ministerio de Minas y Energía Colombia, 2010)

2.3 Partes de la luminaria tradicional HID (Descarga de Alta intensidad).

Luminaria es un artefacto que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas. Contiene en su caso los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento (balasto, reactancia, arrancador y capacitor).

Los componentes de una luminaria HID son:

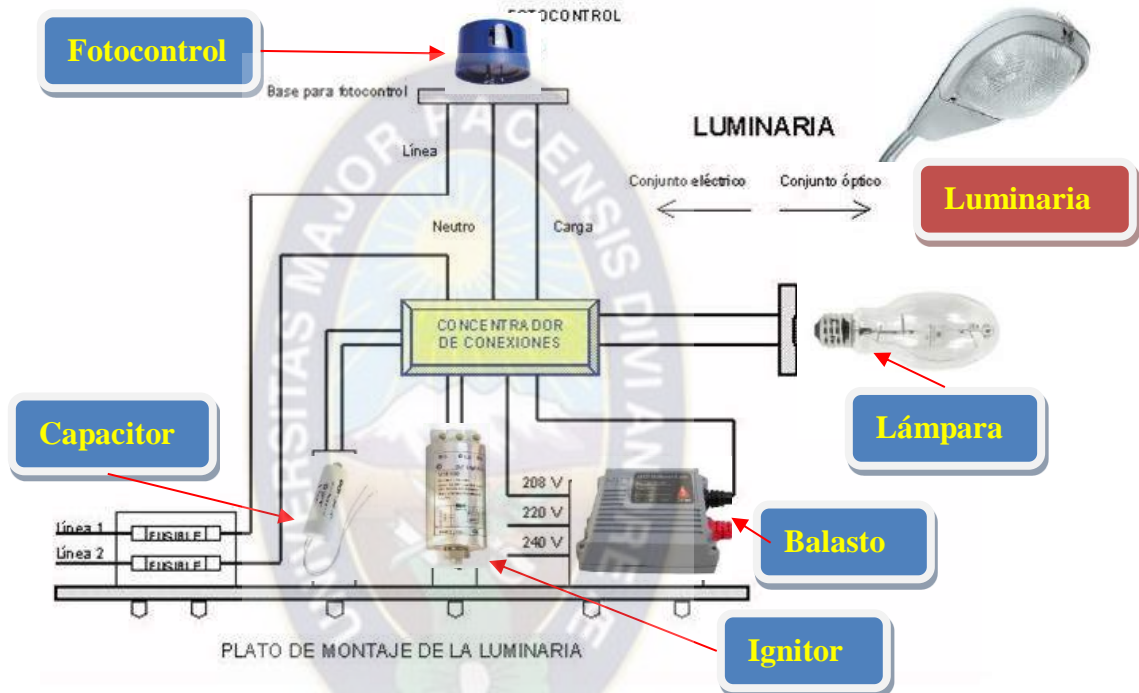
- ❖ **Lámpara:** Término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacentes a la zona visible.
- ❖ **Balasto:** Dispositivo conectado entre la alimentación y la lámpara de descarga, que sirve para limitar la corriente de la lámpara a un valor determinado. Popularmente se la conoce con el nombre de reactancia.
- ❖ **Ignitor:** Arrancador o ignitor es un dispositivo que por sí solo o asociado con otros elementos del circuito genera pulsos de voltaje para iniciar el proceso de encendido de las lámparas de descarga sin precalentamiento de electrodos.
- ❖ **Fotocontrol:** Los controles fotoeléctricos o fotocontroles, son una clase especial de interruptores automáticos utilizados ampliamente para la conexión y desconexión de luminarias, ya sea en forma individual, o efectuando un control múltiple mediante la utilización de un contador adicional.
- ❖ **Condensador:** Es un dispositivo compuesto por dos materiales conductores llamados placas, paralelos entre sí, separados por un material aislante, cuya propiedad, fenómeno llamado capacitancia, es la de almacenar energía eléctrica después de conectar las placas a una fuente de energía. Su función en el caso de



las luminarias, es mejorar el factor de potencia en balasto reactor y ayuda a regular la potencia en balastos de autotransformador de potencia constante.

La figura siguiente nos muestra los componentes de una luminaria HID:

FIGURA 2-2. Componentes de una luminaria HID.



Fuente: Elaborado con base en CODENSA S.A. (2011). Especificaciones técnicas ET 801. Recuperado de <http://likinormas.micodensa.com/Especificacion>

2.4 Partes de la luminaria LED.

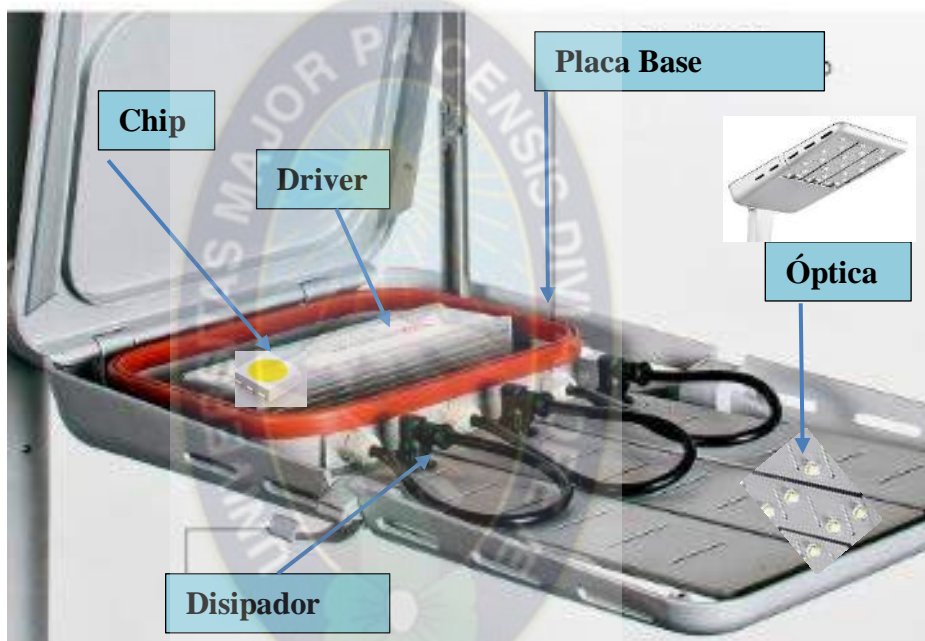
Los componentes de una luminaria LED son:

- ❖ **Chip:** Es el corazón de una lámpara LED, capaz de generar luz cuando se le aplica corriente eléctrica.
- ❖ **Driver:** Es la fuente de alimentación previa, su función es controlar el sistema electrónico de trabajo del LED de alta potencia luminosa.
- ❖ **Disipador de calor:** Su función es disipar la temperatura que se genera en el punto de unión o juntura del diodo LED cuando la lámpara se encuentra encendida, ayudando a mantenerla dentro de un rango adecuado.



- ❖ **Placa base:** Es la placa del circuito electrónico, que soporta las conexiones de los componentes electrónicos, del chip y vías de disipación del calor.
- ❖ **La óptica:** Compuesta por un conjunto de lentes que determinan la distribución de la luz emitida por el LED.

FIGURA 2-3. Componentes de una luminaria LED.



Fuente: Elaborado con base en LEDBOX (2015). Elementos claves de luminaria led.

Recuperado de <http://ledbox.es/Información-led>

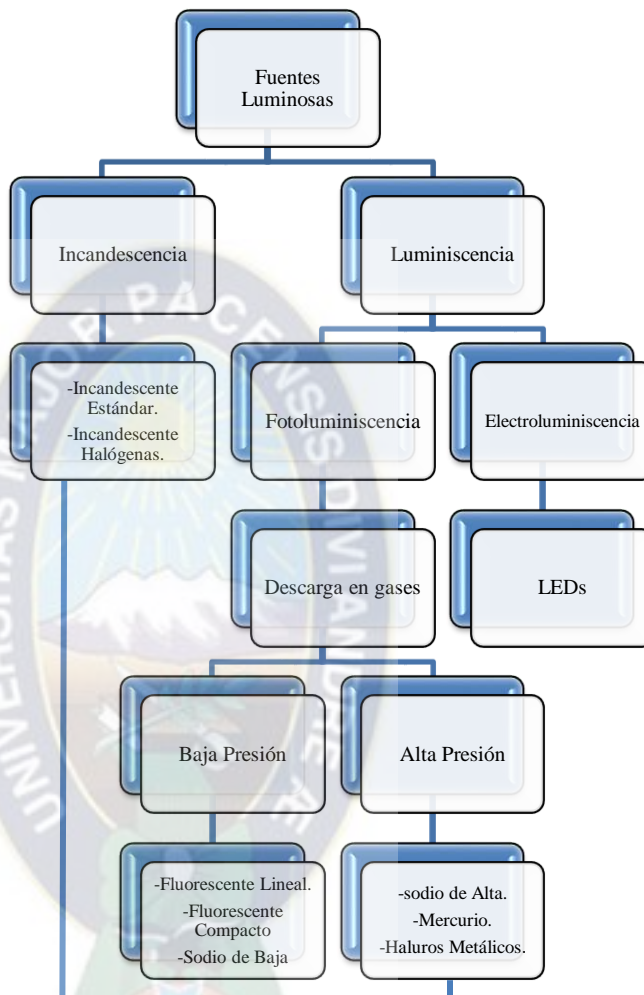
2.5 Fuentes Luminosas.

Fuentes Luminosas: Las fuentes de luz artificial implican la conversión de alguna forma de energía en radiación electromagnética, basándose principalmente en la excitación de átomos y luego la emisión de fotones.

Existen dos clasificaciones que describen el tipo de lámpara según los procesos de: Incandescencia y la luminiscencia. En el diagrama de abajo se muestra la clasificación.



Diagrama 2-1. Clasificación general de las fuentes luminosas.



Fuente: Elaborado con base en datos de proyecto adaptación de alumbrado en ayuntamiento Coín.

- ❖ **Lámparas Incandescentes:** El principio de funcionamiento se basa en que un filamento de tungsteno de espiral simple o doble, se lleva hasta la incandescencia con el paso de la corriente eléctrica. Con objeto que no se quemara el filamento, se encierra en una ampolla o bulbo de vidrio dentro del cual se hace el vacío o se introduce un gas inerte (argón, criptón, etc.). (Gilberto Enríquez Harper, n.d.)
- ❖ **Lámparas incandescentes Halógenas:** Tienen el funcionamiento similar al de las lámparas incandescentes normales, con la salvedad de que el halógeno



incorporado en la ampolla ayuda a conservar el filamento. Aumentando así la vida útil de la lámpara, mejora su eficiencia luminosa, reduce tamaño, mayor temperatura de color.(Universidad de Navarra, n.d.)

- ❖ **Lámparas fluorescentes:** La corriente pasa a través de un vapor de mercurio a baja presión, de esta manera también son llamadas “lámparas de descarga de mercurio a baja presión”.

En el momento en que la lámpara se enciende, los electrones “bombardean” los átomos de mercurio provocando que el gas emita los rayos ultravioleta. Cuando estos rayos golpean una capa de fósforo se produce una luz visible.

- ❖ **Lámparas fluorescentes compactas [LFC]:** Básicamente son lámparas fluorescentes con potencias entre 5 y 60 W que, por lo general, llevan incorporado el equipo de arranque y disponen de un casquillo E.27 para ser conectadas a los portalámparas clásicos de las incandescentes.
- ❖ **Lámparas de vapor de mercurio a alta presión:** En estas lámparas, la descarga se realiza a través de una atmósfera de vapor de mercurio. Para mejorar el índice de reproducción cromático de estas lámparas se recubre el interior de la ampolla con polvos fluorescentes de vanadato de itrio. Potencia entre 50 y 2.000 W.
- ❖ **Lámparas de halogenuros metálicos:** Estas lámparas son básicamente iguales que las anteriores; al introducir halogenuros metálicos en el interior del tubo se consigue una mayor eficiencia luminosa [65 lm/W a 90 lm/ W] y una fiel reproducción de los colores [IRC= 60 a 85], una buena temperatura de color [4.000 a 6000°K] y una vida útil larga [6.000 a 10.000 horas].
- ❖ **Lámparas de vapor de sodio de alta presión:** La descarga se realiza a través de vapor de sodio de alta presión con lo que se consigue aumentar bastante el rendimiento luminoso [60 a 130 lm/W]. Los nuevos desarrollos consiguen elevar el IRC entre 65 y 80, lo que unido a su larga vida útil [12.000 horas], las hacen ideales para la iluminación de alumbrado público, zonas peatonales, monumentos, etc.



- ❖ **Lámparas de vapor de sodio de baja presión:** Estas lámparas son básicamente igual que las anteriores; al introducir vapor de sodio a baja presión en el interior del tubo se consigue una muy alta eficiencia luminosa [100 lm/W a 200lm/W]. A cambio, se consigue muy baja temperatura de color [1.800 °K] y una muy mala reproducción de los colores [IRC es nulo]. Se produce una emisión de luz amarilla monocromática que se corresponde con la máxima sensibilidad del ojo.
- ❖ **Lámparas de luz mezcla:** Es la combinación entre una lámpara de mercurio y una incandescente, ya que posee un filamento para estabilizar la corriente. Por lo tanto no requiere el uso de un balasto. Dicho filamento está conectado en serie con el tubo de descarga, y la luz producida es una combinación entre la descarga del mercurio y la del filamento.
- ❖ **Lámparas de LED:** Las lámparas LED están formadas por cadenas de diodos LED, ya sea en serie o en paralelo. Los diodos LED se fabrican mediante la unión de dos cristales semiconductores PN, a los que se les ha contaminado de una forma especial. Cuando una unión de este tipo se polariza con una tensión directa, al igual que ocurría con los diodos convencionales, los electrones de valencia del cristal tipo N atraviesan la unión y se recombinan con los huecos del cristal tipo P. Dado que dichos electrones se trasladan de un nivel de energía más alto a uno más bajo, se produce una liberación de energía, que en este tipo de diodos se manifiesta en forma de radiaciones electromagnéticas dentro del espectro luminoso.

2.6 Luminarias.

Según la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), la definición de luminarias son “*Aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que contienen todos los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación*”



Las luminarias tienen por objeto:

- Dirigir sobre la calzada el flujo luminoso emitido por las fuentes, con el mínimo de pérdidas y en la dirección deseada.
- Proteger las fuentes de luz contra la intemperie.
- Aislar térmicamente la fuente del ambiente exterior, con el fin de alcanzar la temperatura de funcionamiento que corresponde al máximo de eficiencia luminosa.

a) **Sistemas ópticos**

La repartición del flujo luminoso en la dirección deseada se puede obtener por medio de reflectores, refractores, difusores o por una combinación de los diferentes sistemas.

b) **Tipos de luminarias**

Características mecánicas

- Todas las piezas que componen la luminaria deben ser inalterables.
- El sistema óptico debe ser removible para facilitar su eventual reemplazo.
- La luminaria cerrada debe cumplir con un grado de hermeticidad previsto.
- Los portalámparas y soportes deben ser muy resistentes mecánicamente.
- Las luminarias deben poner poca resistencia a la presión del viento.

Características de soportes

- Los soportes usados en alumbrado público son los postes y los brazos.
- Los postes comprenden generalmente un elemento de soporte vertical y uno o varios brazos.

-Los postes de hormigón son hechos de hormigón armado o en hormigón pretensado siendo su fabricación más común por vibración, centrifugación o ambas. Su sección es generalmente circular cónico o poligonal. No necesitan prácticamente ningún mantenimiento, pero es conveniente utilizar una línea esbelta y armoniosa del conjunto para conseguir una proporción justa entre las dimensiones del soporte y la luminaria y una unión perfecta entre el brazo y el soporte vertical.



-Los postes pueden ser de acero o de aluminio generalmente son más esbeltos que los postes de hormigón. El poste puede ser de forma cilíndrica o cónica. Se deben tomar precauciones especiales para proteger estos postes contra la corrosión.

-Los brazos pueden fijarse en las fachadas de las edificaciones o en los postes de las líneas de distribución de energía eléctrica. Están generalmente constituidos por el ensamble de tubos metálicos o de perfiles soldados.

2.6.1 Características fotométricas de las luminarias.

Los cálculos de diseño de alumbrado público deben ser hechos con base en luminancia o iluminancia según requerimientos particulares, para este proyecto se utilizara la iluminancia como base para el diseño.

Se realizará el cálculo partiendo de datos fotométricos de la luminaria, tales como:

- a) **Matriz de intensidades:** Muestra la información de distribución de la intensidad lumínica.

TABLA 2-5. Matriz de intensidades por la CIE Cd/1000 lm.

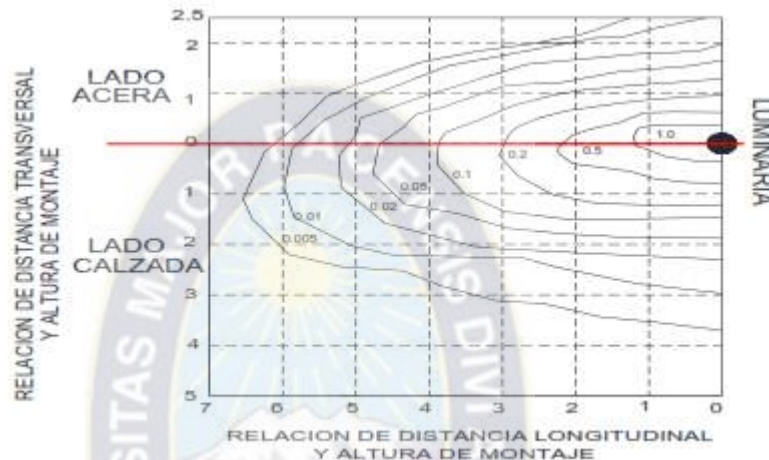
y/C	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	195°	210°	225°	240°	255°	270°
0°	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
10°	202	219	230	251	257	262	267	262	257	251	230	219	202
20°	216	250	267	265	273	278	272	278	273	265	267	250	216
30°	228	288	302	279	248	221	202	221	248	279	302	288	228
40°	213	258	273	271	203	156	142	156	203	271	273	258	213
50°	242	282	221	172	132	104	104	104	132	172	221	282	242
60°	274	337	241	122	95	74	55	74	95	122	241	337	274
70°	308	422	222	97	70	46	22	46	70	97	222	422	308
80°	56	81	132	61	32	8	2	8	32	61	132	81	56
90°	3	5	4	2,5	1,5	0,8	0	0,8	1,5	2,5	4	5	3

Fuente: Elaborado con base en el manual técnico para interpretar documentos fotométricos de luminarias de alumbrado público del GAMLP.



- b) **Diagrama Isolux:** Es una representación a escala de los niveles lumínicos que se alcanzarían sobre algún plano horizontal de trabajo en relación con la altura de montaje.

FIGURA 2-4. Diagrama Isolux.



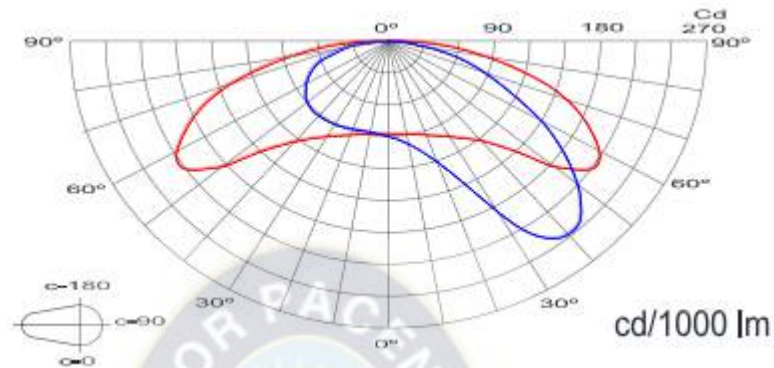
Fuente: Elaborado con base en el manual técnico para interpretar documentos fotométricos de luminarias de alumbrado público del GAMLP.

- c) **Diagrama polar de intensidad luminosa:** Corresponde a uno o varios planos C específicos en un diagrama isocandela. Por ejemplo, en el modelo CIE, los planos utilizados para conformar diagramas polares son: 1. El que queda justo al frente y atrás de la luminaria (planos $C=90^\circ$ y $C=270^\circ$) y 2. El que queda a los dos costados de la luminaria (planos $C=0^\circ$ y $C=180^\circ$). Su principal utilización se da al momento de establecer la clasificación de las luminarias con relación a los efectos deslumbrantes.

Para hacer una transformación de coordenadas entre sistema, se utiliza una fórmula que da la relación entre planos $C_{CIE} = 90^\circ - C_{IES}$



FIGURA 2-5. Diagrama Polar.



Fuente: Elaborado con base en el manual técnico para interpretar documentos fotométricos de luminarias de alumbrado público del GAML P.

- d) **Curvas de coeficientes de utilización:** Expresan el porcentaje del flujo luminoso emitido por una luminaria y que cae sobre una superficie determinada. En alumbrado público corresponderá a la superficie de la calzada.
- Flujo luminoso para diseño: Se toman el valor de flujo luminoso nominal de las fuentes.
 - Duración o vida útil de la fuente lumínica: El fabricante debe suministrar la información sobre las curvas de depreciación luminosa, curva de mortalidad ó de vida promedio de las fuentes luminosas y vida económica de las fuentes y análisis económico de luminarias.



2.7 Localización de las luminarias.

a) Altura de las luminarias

La altura de las luminarias se define como la altura del centro geométrico de la luminaria por encima del nivel de la calzada.

En la práctica las características fotométricas de la luminaria, los niveles fotométricos requeridos, las condiciones de mantenimiento, las facilidades de operación y las consideraciones presupuestales, determinan la elección de la altura.

b) Interdistancia entre las luminarias

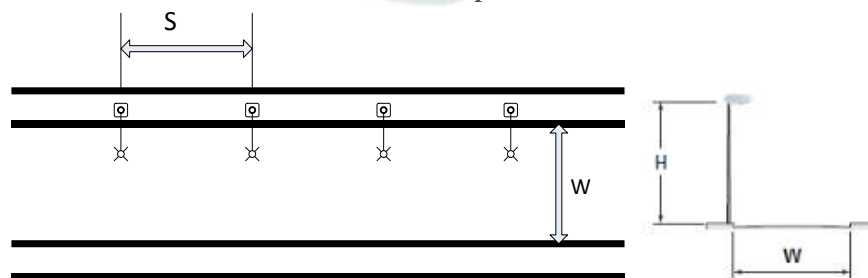
La distancia “S” entre luminarias, es la distancia comprendida entre dos luminarias sucesivas medida según el eje de la vía, este intervalo está relacionado con la altura “H” adoptada por las luminarias.

c) Tipos de disposiciones

La disposición de las luminarias sobre las vías puede ser una de las siguientes:

- Disposición Unilateral: Es una posición donde todas las luminarias se instalan a un solo lado de la vía. Se admite cuando el ancho W de la vía a iluminar es inferior a la altura H de las luminarias.

FIGURA 2-6. Disposición Unilateral.

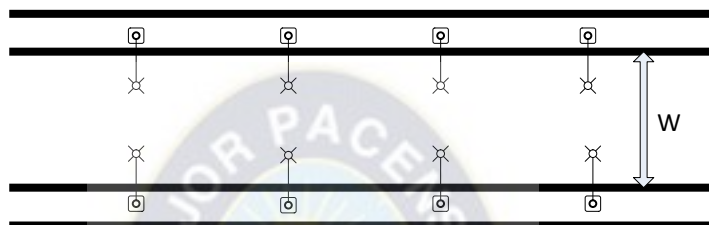


Fuente: Elaborado con base en el punto 11 construcciones de la norma boliviana NB 1412001:2.



- Bilateral en posición: Se recomienda cuando el ancho de la vía es superior a la altura de las fuentes y la vía es muy ancha.

FIGURA 2-7. Bilateral en posición.



Fuente: Elaborado con base en el punto 11 construcciones de la norma boliviana NB 1412001:2.

- Bilateral alternada: Se recomienda cuando el ancho de la vía es superior a la altura de las fuentes y la vía es medianamente ancha.

FIGURA 2-8. Bilateral alternada.

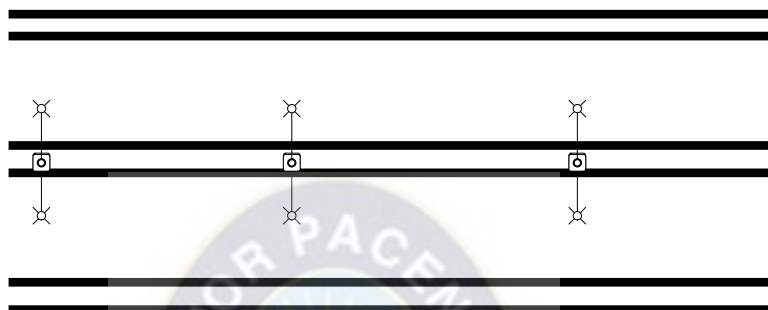


Fuente: Elaborado con base en el punto 11 construcciones de la norma boliviana NB 1412001:2.



- Central sencilla.

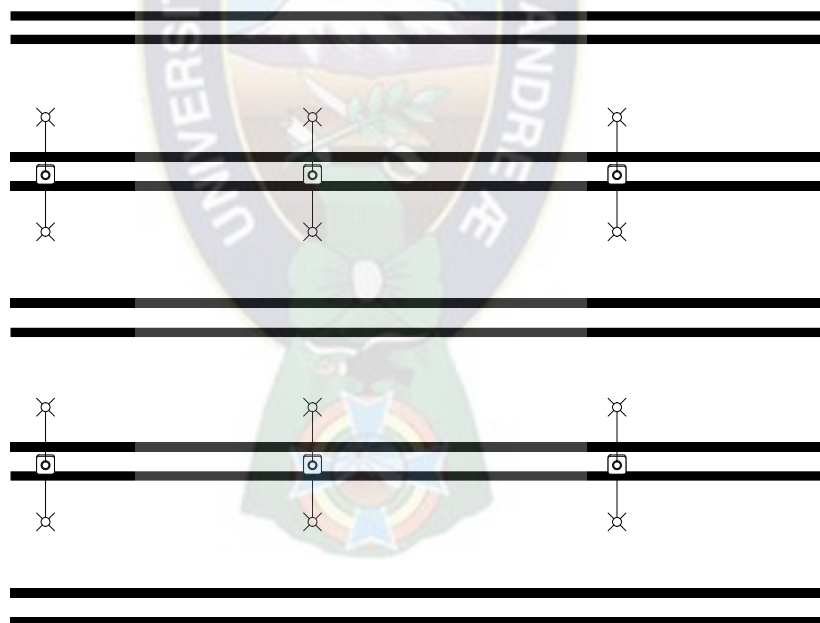
FIGURA 2-9. Central sencilla.



Fuente: Elaborado con base en el punto 11 construcciones de la norma boliviana NB 1412001:2.

- Central doble.

FIGURA 2-10. Central doble.



Fuente: Elaborado con base en el punto 11 construcciones de la norma boliviana NB 1412001:2.

En algunos casos especiales se utilizan combinaciones de las anteriores.



En la siguiente tabla se muestran recomendaciones para disposiciones de luminarias.

TABLA 2-6. Recomendaciones enunciadas.

Clase de iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias Criterio	Disposición
M1	10- 12	2,5- 3	Dos carriles de circulación	Unilateral
			Tres carriles de circulación	Bilateral alternada
			Cuatro carriles de circulación	Bilateral opuesta
M2	8,5- 10	3- 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
			Tres carriles de circulación	Bilateral alternada
			Cuatro carriles de circulación	Bilateral opuesta
M3	8,5- 10	3- 4	Ancho de la calzada menor o igual a la altura de las luminarias.	Unilateral
			Ancho de la calzada entre 1 y 1,5 veces la altura de las luminarias.	Bilateral alternada
			Ancho de la calzada mayor a 1,5 veces la altura de las luminarias.	Bilateral opuesta
M4	7- 10	3- 5		Unilateral
M5	3- 6	4- 5		A criterio del diseñador

Fuente: Elaborado con base en el punto 11 construcciones de la norma boliviana NB 1412001:2.

-Iluminación Tipo M1 y M2. Con las alturas usuales que varían entre 8,5 m y 12 m, conviene una disposición unilateral en las calzadas de dos carriles con un ancho de vía del orden de 7 m y una disposición bilateral en oposición.



-Iluminación Tipo M3. Para este tipo de iluminación a la cual corresponde alturas entre 8,5 m y 10 m, se recomienda utilizar una disposición unilateral cuando el ancho de la calzada tiene el mismo orden de magnitud que la altura de montaje.

Se aconseja la disposición bilateral alternada cuando el ancho sea superior a 1,5 veces la altura de la luminaria.

-Iluminación Tipo M4. La iluminación requiere una disposición unilateral, ya que las vías secundarias tienen generalmente dos carriles.

-Iluminación Tipo M5. La disposición debe escogerse teniendo en cuenta las condiciones locales: arborización, jardines, etc.

Como regla general los postes se deben alinear paralelamente al eje de la vía, se recomienda por seguridad una distancia no inferior a 60 cm del borde del sardinel.

2.7.1 Clases de iluminación.

Se clasifican en cinco clases, de M1 a M5, las que dependen y se seleccionan de acuerdo con la función de la vía, densidad, complejidad, separación y existencia de medios para el control del tráfico, tales como las señales y semaforización. La tabla de abajo nos muestra las clases de iluminación según la norma NB 1412001-2.



TABLA 2-7
Clases de iluminación para diferentes tipos de vías.

Descripción de la vía	Clase de iluminación
Vías de alta velocidad con calzadas separadas exenta de cruces a nivel y con accesos completamente controlados: autopistas expresas Densidad del tráfico y complejidad de la vía (Véase nota 1) Alto Medio Bajo	M1 M2 M3
Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Control de tráfico (véase nota 2) y separación (véase nota 3) de diferentes usuarios de la vía (Véase nota 4) Escaso Suficiente	M1 M2
Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía. Escaso Bueno	M2 M3
Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales. Vías que conducen a las propiedades y a las otras vías conectoras. Control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía. Escaso Bueno	M4 M5

Fuente: Elaborado con base en datos de la norma NB 1412001:2 (Alumbrado Público-Reglas generales y especificaciones técnicas).

NOTA 1

La complejidad de la vía, se refiere a su infraestructura, movimiento de tráfico y alrededores visuales. Se deben considerar los siguientes factores: número de carriles, inclinación, letreros y señales. Entradas y salidas de rampas, intersecciones y otros sitios que se consideran como áreas conflictivas.

NOTA 2

Control de tráfico, se refiere a la presencia de letreros y señales, así como a la existencia de regulaciones. Los métodos de control son semaforización, reglas de prioridad, regulaciones de prioridad y señales, avisos y demarcación de la vía.



NOTA 3

La separación puede ser por medio de carriles específicos ó por normas que regulan la restricción para uno o varios de los tipos de tráfico.

NOTA 4

Los diferentes tipos de usuarios de la vía son: automóviles, camiones, vehículos lentos, buses, ciclistas, motociclistas y peatones.

De acuerdo con lo anterior se adoptan cinco tipos de iluminación caracterizados por los criterios enumerados. La tabla 2-8 nos muestra los criterios según el tipo de vía.

TABLA 2-8
Criterios admitidos según tipo de vía.

Tipo de Vía	Velocidad de circulación (V) en km/h		Tránsito de vehículos (T) vehículos/h	
Vía M1	Muy importante	V>90	Muy importante	T>1000
Vía M2	Importante	60<V<90	Importante	500<T<1000
Vía M3	Media	30<V<60	Media	250<T<500
Vía M4	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
Vía M5	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

Fuente: Elaborado con base en datos de la norma NB 1412001:2 (Alumbrado Público-Reglas generales y especificaciones técnicas).

La tabla 2-9 nos muestra los requisitos para el tráfico motorizado según criterios de control:

- Nivel de luminancia y uniformidad de la calzada;
- Iluminación de los alrededores de la vía;
- Limitación del deslumbramiento.



TABLA 2-9
Criterios de control según tipo de vía.

Clases de Iluminación	Zonas de aplicación						
	Todas las vías	Todas las vías		Todas las vías	Todas las vías	Vías sin ó con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia L(cd/m ²) mínimo o mantenido	Iluminancia Media E (lux) mínimo mantenido		Uo mínimo	T.I. (%) máximo o inicial	U _L mínimo	SR mínimo
Calzada clara		Calzada oscura					
M1	2,0	15-20	30-50	0,4	10	0,5 a 0,71	0,5
M2	1,5	10-20	20-30	0,4	10	0,5 a 0,7	0,5
M3	1,0	5-10	10-20	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,75	2-5	5-10	0,4	15	NR	NR
M5	0,5	1-3	2-6	0,4	15	NR	NR

Fuente: Elaborado con base en datos de la norma NB 1412001:2 (Alumbrado Público-Reglas generales y especificaciones técnicas).

NOTA

0.7 es para vías de alta velocidad con calzadas separadas, exentos de cruces a nivel y con accesos completamente N.R.: No requiere.



CAPÍTULO III
METODOLOGÍA PARA EL
CÁLCULO DE
INGENIERÍA EN
ALUMBRADO
PÚBLICO



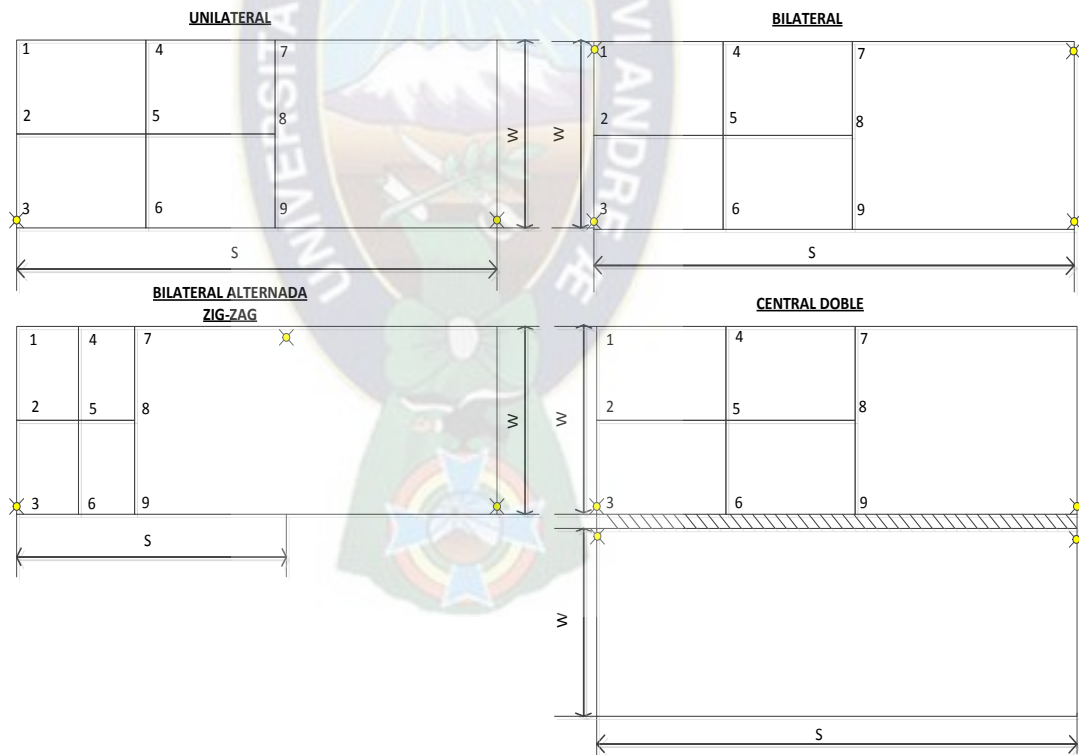
3.1 Métodos de cálculo de iluminancia promedio y coeficiente de uniformidad

Para los cálculos de iluminancia promedio y coeficiente de uniformidad se debe aplicar cualquiera de los siguientes métodos:

3.1.1 Método europeo de los 9 puntos

Consiste en dividir el área comprendida entre dos luminarias consecutivas colocadas sobre el mismo lado de la vía en tres zonas que definen los nueve puntos, La figura 3-3 de abajo nos muestran la ubicación de los nueve puntos según la localización de las luminarias.

FIGURA 3-1. Ubicación de los 9 puntos según disposición de luminarias.



Fuente: Elaborado con base en la norma NB 1412001-2 Alumbrado público pag 55.



Estos dibujos se deben hacer utilizando la misma escala a la cual está dibujada la curva Isolux. Se localiza cada luminaria en el centro de la curva Isolux y se lee la influencia de esa luminaria sobre cada punto.

Para obtener la iluminación producida por una luminaria en un punto, se toma el diagrama Isolux hecho en papel transparente, se coloca su centro sobre la proyección de la luminaria sobre el plano de la calzada, el cual se debe elaborar a un tamaño proporcional a la escala del diagrama Isolux dividido por la altura de montaje de la luminaria. El valor de la iluminancia en el punto, se puede leer directamente del diagrama o si está en porcentaje de la iluminancia máxima, se puede obtener multiplicando el valor de la curva Isolux por:

$$E_{m\acute{a}x} = \underline{\phi} = \frac{\text{Flujo de la lámpara utilizada}}{h_m^2}$$

Donde:

h_m = Altura de montaje

A partir de la lectura de la iluminación en los 9 puntos, la iluminación promedio sobre la vía se calcula con la fórmula siguiente:

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2x (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4xE_5]$$

Donde:

$E_1, E_2 \dots E_9$ Son las iluminancias en los puntos $P_1, P_2 \dots P_9$ respectivamente.

A partir de los valores obtenidos se escogen el punto mínimo, el punto máximo y el nivel promedio para calcular las uniformidades.

$$U_o = \frac{E_{m\acute{i}nimo}}{E_{promedio}}; U_G = \frac{E_{m\acute{i}nimo}}{E_{m\acute{a}ximo}}$$



3.1.2 Método del coeficiente de utilización

La curva del coeficiente de utilización permite calcular rápidamente el nivel promedio de iluminación o la separación entre postes, a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{promedio} = \frac{\phi * Cu * F_m}{W * S}$$

ϕ = Flujo luminoso inicial de la lámpara

Cu = Coeficiente de utilización del sistema

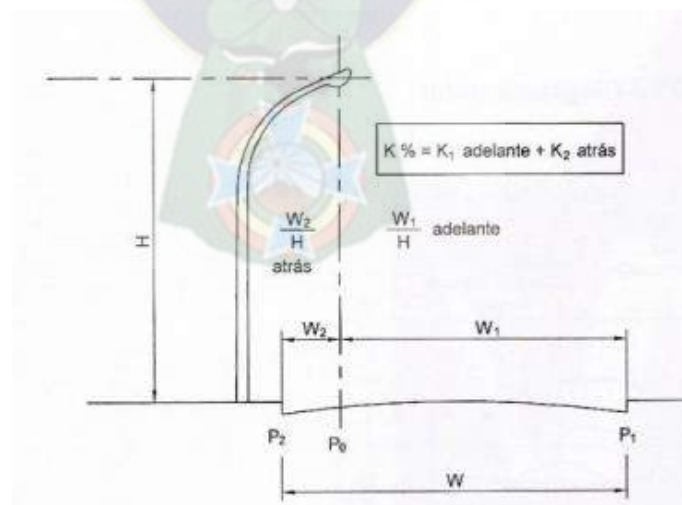
F_m = Factor de mantenimiento

W = Ancho de la calzada considerada

S = Separación entre postes

Las curvas de coeficiente de utilización K expresan el porcentaje del flujo luminoso emitido por la luminaria y que cae sobre la superficie de la calzada, en función del ancho de la misma. Como punto de referencia, se toma la vertical de la luminaria como muestra. La figura de abajo.

FIGURA 3-2. Curva de coeficiente de utilización.

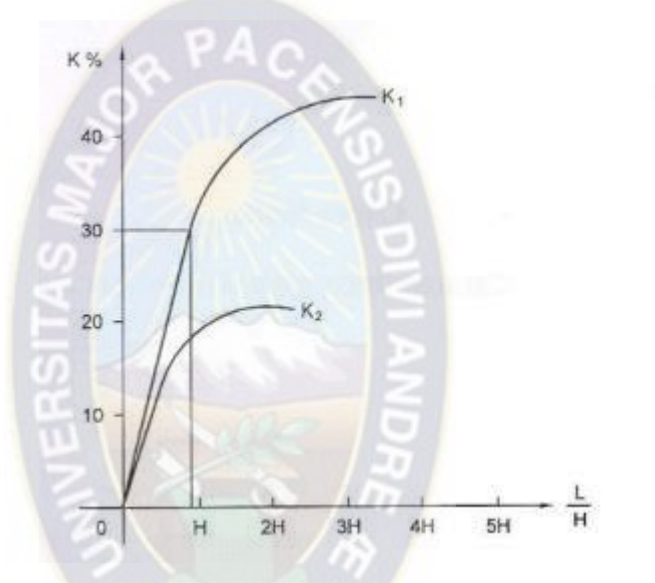


Fuente: Elaborado con base en la norma NB 1412001-2 Alumbrado público pag 54.



Una luminaria de alumbrado público tiene dos curvas K. La primera, denominada K_1 , representa el flujo luminoso hacia el frente, hacia adelante, hacia la calzada. La segunda, denominada K_2 , representa el flujo luminoso hacia atrás, hacia las casas, hacia el andén, como muestra La figura de abajo.

FIGURA 3-3. Curvas de coeficiente de utilización.



Fuente: Elaborado con base en la norma NB 1412001-2 Alumbrado público pag 54.

Debe tenerse en cuenta que este método no suministra ninguna información sobre la calidad de la iluminación, la cual se controla mediante el concepto de la uniformidad definida mediante las siguientes relaciones:

$$U_o = \frac{E_{\text{mínimo}}}{E_{\text{promedio}}}; U_G = \frac{E_{\text{mínimo}}}{E_{\text{máximo}}}$$



3.1.3 Cálculos computarizados de iluminancia

Hoy en día todos los cálculos comerciales se los realiza a través de softwares especializados. Así mismo, se puede incrementar el número de puntos considerados, pues los 9 puntos del método europeo son un límite de aproximación.

La iluminancia horizontal en un punto se calcula a partir de la siguiente fórmula u otra matemáticamente equivalente:

$$E_h = \frac{\sum I(c, \gamma) \cos^3 \gamma * \varphi * FM}{H^2}$$

Donde:

E_h = Luminancia horizontal mantenida en el punto, en luxes. Indica la sumatoria de la contribución de todas las luminarias.

$I(c, \gamma)$ = Intensidad en cd/klm emitida por la dirección del punto; ángulo de incidencia de la luz en el punto.

H= Altura de montaje en metros de la luminaria.

φ = Flujo luminoso inicial en klm de la bombilla o bombillas de la luminaria.


FM= Factor de mantenimiento.

3.1.3.1 Utilización del software Ulysse

Se hace esencial la utilización del computador para confiabilidad y agilidad de los cálculos, por lo cual se utilizará el software Ulysse, el cual es una herramienta para el diseño de alumbrado público, permitiendo calcular los niveles de iluminación necesarios para las aplicaciones con el objetivo de proporcionar la solución más óptima.

Software de uso exclusivo de la empresa SCHREDER.

Existe algunos software de uso libre que se pueden descargar del internet como el: Dialux y Calculux.



CAPÍTULO IV
SITUACIÓN ACTUAL
DE LA CIUDAD DE LA
PAZ.

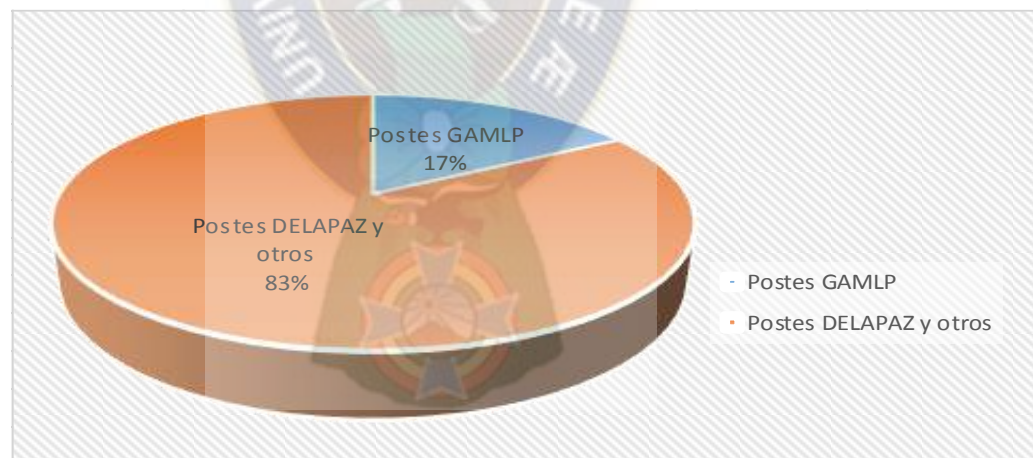


4.1 Situación del alumbrado público en la ciudad de La Paz.

La infraestructura y los sistemas de alumbrado público en la ciudad de La Paz están deteriorados en su mayoría. Se requiere de renovación y modernización integral para seguir siendo ciudad maravilla. La imagen municipal se ve dañada al no contar con un buen servicio de alumbrado y con iluminación eficiente que ayuden a la disminución del vandalismo e inseguridad que existen en varias zonas del Municipio.

La red actual del alumbrado público municipal cuenta con 43.166 luminarias instaladas en su mayor parte en postes de DELAPAZ. La figura de abajo nos muestra los porcentajes de luminarias instaladas en postes del GAMLP y DELAPAZ en las vías M1 y M2. Contando con un total de 13.419 postes para vías M1 (2.690 postes) y M2 (10.729 postes).

FIGURA 4-1. Porcentaje de las luminarias instaladas en postes del GAMLP y DELAPAZ en vías M1 y M2.

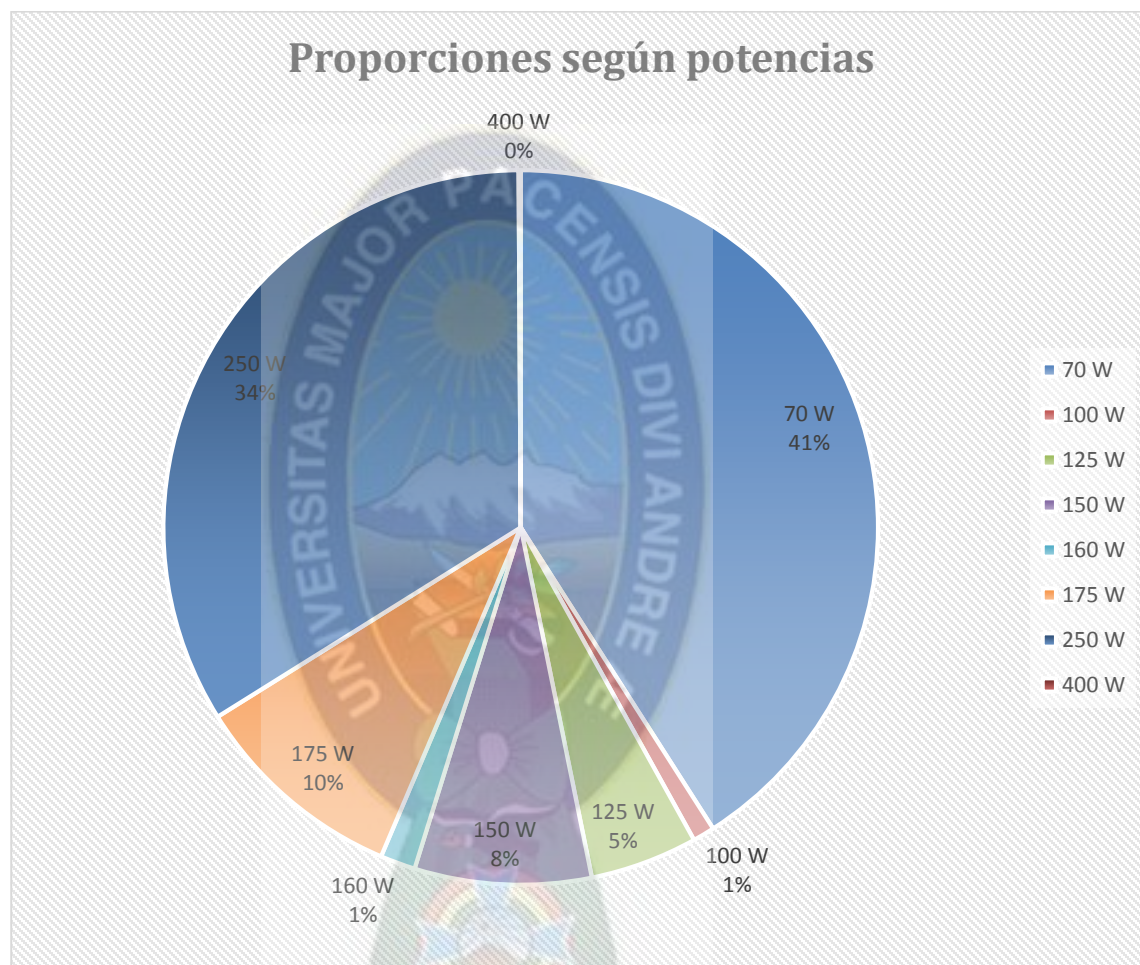


Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP.



La figura de abajo nos muestra el porcentaje de luminarias según sus potencias:

FIGURA 4-2. Porcentaje de las luminarias según sus potencias.



Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLPL.

La figura anterior nos muestra que las lámparas de 70 W representan el 41% del total de lámparas instaladas por lo que predominan en las instalaciones de los postes, seguido por las lámparas de 250 W 34%, 175 W 10%, 150 W 8%, 125W 5% y las demás debajo del 1%.



La tabla 4-1 de abajo, nos muestra la cantidad de luminarias según la tecnología de lámpara que llevan instalados en los postes del GAMLP y DELAPAZ

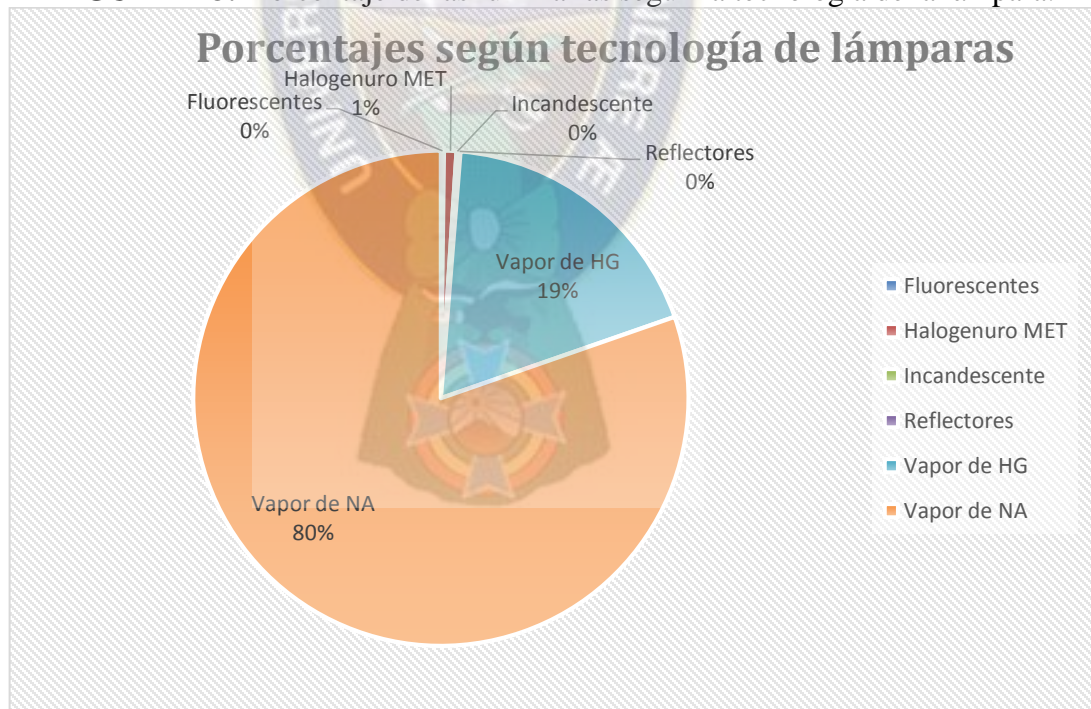
TABLA 4-1. Cantidad de luminarias según tecnología de lámpara.

Tecnología de lámpara	N° luminarias
Fluorescentes	85
Halogenuro MET	351
Incandescente	44
Vapor de HG	7.944
Vapor de NA	34.676

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP.

La figura de abajo nos muestra el porcentaje de luminarias por su tecnología:

FIGURA 4-3. Porcentaje de las luminarias según la tecnología de la lámpara.



Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP.



La figura nos muestra que las lámparas con tecnología de vapor de sodio representan el 80% del total de lámparas instaladas por lo que predominan en las instalaciones de los postes, seguido por las lámparas con tecnología de vapor de mercurio 17%, gas de mercurio 2%, halogenuro metálico 1%, y las demás debajo del 1%.

4.2 Potencia Nominal y Real de las luminarias.

La potencia real se diferencia por las fluctuaciones en la corriente, al uso excesivo, es decir, la suma de las potencias del fotocontrol, balasto e ignitor. Por otro lado la potencia nominal indica la potencia que un dispositivo puede soportar en las condiciones de servicio establecido, se indica en el catálogo de la lámpara. La tabla de abajo se describe los tipos de luminarias con sus potencias reales y de placa.

TABLA 4-2. Luminarias del GAML P.

Tipo de luminaria	Potencia de Placa de la luminaria [W]	Potencia Real de la Luminaria [W]
Vapor de HG 125W	125	140
Vapor de HG 175W	175	190
Vapor de HG 250W	250	270
Vapor de HG 400W	400	430
Halogenuro MET 70W	70	85
Halogenuro MET 150W	150	170
Halogenuro MET 250W	250	280
Halogenuro MET 400W	400	400
Gas de HG 160W	160	160
Gas de HG 250W	250	250
Vapor de NA 70W	70	85
Vapor de NA 100W	100	130
Vapor de NA 150W	150	170
Vapor de NA 250W	250	280
Vapor de NA 400W	400	436
Incandescente 100W	100	100
Incandescente 100W	100	100
Gas de HG 160W	160	160

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAML P.



4.3 Disposiciones de las luminarias sobre las vías más importantes del alumbrado público en la ciudad de La Paz.

En la ciudad de La Paz se tiene siete macro distritos que tienen clases de iluminación: M1, M2, M3, M4 y M5 según la clasificación de la norma boliviana NB 1412001:2 2013. La tabla de abajo nos muestra algunos ejemplos de las clases de iluminación en la ciudad de La Paz.

TABLA 4-3. Ejemplos clasificación vial en la ciudad de La Paz.

Clase de Iluminación	Nombre de la vía
M1	Avenidas: Ismael Montes, Mariscal Santa Cruz, Kantutani, Costanera Norte, Aniceto Arce, Roma, etc
M2	Eliodoro Camacho, 6 de Agosto, 9 de Abril, Costanerita, German Busch, Periférica, Pasos Kanki, etc
M3	Avenidas: Heroes del Pacifico, Sanches Bustamante, etc. Calles: Potosí, Sagarnaga, Santa Cruz de la Sierra, Ayacucho, Colón, Benito Juarez, etc.
M4	Calles: Isac Tamayo, Socabaya, Chuquisaca, Illimani, Costa Rica, Sanjinez, etc.
M5	Calles: Alcoreza, Borda, Palacios, Pinto, Tte Luis Paredes, etc

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP.



Características de algunas de las vías importantes en la ciudad de La Paz:

Disposición Unilateral

- ✓ Calle Federico Zuazo: Pertenece a la clasificación M2, en la figura 4-4 se muestra que tiene disposición unilateral ya que las luminarias se encuentra en un solo lado de la calle, según la clasificación de la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de Vapor de NA 250.

FIGURA 4-4. Calle Federico Zuazo.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la calle Federico Zuazo de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 35,8$$

$$U_o = 0,47$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.



- ✓ Avenida 6 de agosto: Pertenece a la clasificación M2, tiene disposición unilateral como lo muestra la figura 4-5, según la norma boliviana 1412001-2, sus luminarias son Vapor de NA 250W.

FIGURA 4-5. Av. 6 de Agosto.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la av. 6 de Agosto de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 32,4$$

$$U_o = 0,534$$

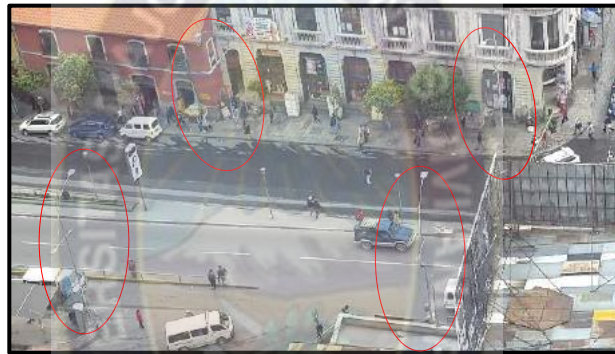
Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.



Disposición Bilateral en oposición

- ✓ Avenida Mariscal Santa Cruz: Pertenece a la clasificación M1, tiene disposición bilateral en oposición como se muestra en la figura 4-6, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de Vapor de NA 250 W

FIGURA 4-6. Av. Mariscal Santa Cruz.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Mariscal Santa Cruz de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 41$$

$$U_o = 0,755$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.



- ✓ Avenida Eliodoro Camacho: Pertenece a la clasificación M2, tiene disposición bilateral en oposición como se muestra en la figura 4-7, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de Vapor de NA 70 W.

FIGURA 4-7. Av. Eliodoro Camacho.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Camacho de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 23,3 \text{ lux}$$

$$U_o = 0,67$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.



- ✓ Avenida Aniceto Arce: Pertenece a la clasificación M1, tiene disposición bilateral en oposición como se muestra en la figura 4-8, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de Haluro MET. 250 W.

FIGURA 4-8. Av. Aniceto Arce.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Arce de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 34,7 \text{ lux}$$

$$U_o = 0,609$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.



- ✓ Avenida Roma: Pertenece a la clasificación M1, tiene disposición bilateral en oposición como se muestra en la figura 4-9, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de Vapor de NA 150 W.

FIGURA 4-9. Av. Roma.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Roma de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 32,5$$

$$U_o = 0,645$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.

Disposición Bilateral alternada

- ✓ Avenida del Poeta: Pertenece a la clasificación M2, tiene disposición bilateral alternada como se muestra en la figura 4-10, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de Vapor de NA 250 W.



FIGURA 4-10. Av. Del Poeta.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Del Poeta de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 22,9 \text{ lux}, \quad U_o = 0,572$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.

- ✓ Avenida Hernando Siles: Pertenece a la clasificación M2, tiene disposición bilateral alternada como se muestra en la figura 4-11, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de VNA 70 W.

FIGURA 4-11. Av. Hernando Siles.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Hernando Siles de la ciudad de La Paz.



Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 21,7 \text{ lux}$$

$$U_o = 0,406$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.

Disposición Central sencilla

- ✓ Avenida Montes: Pertenece a la clasificación M1, tiene disposición central sencilla como lo muestra la figura 4-12, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de VNA 250 W.

FIGURA 4-12. Av. Montes.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Montes de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 43,6 \text{ lux}$$

$$U_o = 0,688$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.



- ✓ Avenida las Américas: Pertenece a la clasificación M2, tiene disposición central sencilla como se muestra en la figura 4-13, según la norma boliviana 1412001-2. Sus luminarias son de Vapor de NA 250 W.

FIGURA 4-13. Av. Las Américas.



Fuente: Elaborado con fotografías tomadas en la Av. Las Américas de la ciudad de La Paz.

Resultados Fotométricos calculados con software Ulysse:

$$E_m = 38,8 \text{ lux}, U_o = 0,542$$

Las características fotométricas cumplen con los criterios de control de la tabla 10 de la norma NB 1412001-2.

4.4 Costo de la energía eléctrica del alumbrado público en la ciudad de La Paz.

La energía eléctrica que consume la red de alumbrado público es uno de los gastos mensuales significativos del Municipio de La Paz.

La tarifa de la energía del alumbrado público es 0,787 Bs/KWh y el municipio paga aproximadamente 2.227.080 Bs por 2.829.836 KWh consumidos de energía eléctrica cada mes.

En el anexo B-1, se encuentra la factura que paga el Alumbrado Público.

CAPÍTULO V

INGENIERÍA DEL

PROYECTO





5.1 Cómputos de alumbrado público con lámparas LED

Los casos de estudio tomados son calles y avenidas con diseño luminotécnico para vías M1 y M2 de la ciudad de La Paz.

Disposición Unilateral:

- ❖ Caso de estudio de la Calle Federico Zuazo

Leyenda de las variables:

H= Altura de montaje de la luminaria

S= Espacio entre postes

W= Ancho de la calzada

α = Ángulo de inclinación de la luminaria

a= Avance

d= Distancia del poste a la acera

N= Número de vías

C= Central

Datos Luminaria LED 150 W:

H= 9 m

S= 30 m

W= 7 m

$\alpha = 0^\circ$

a= 1 m

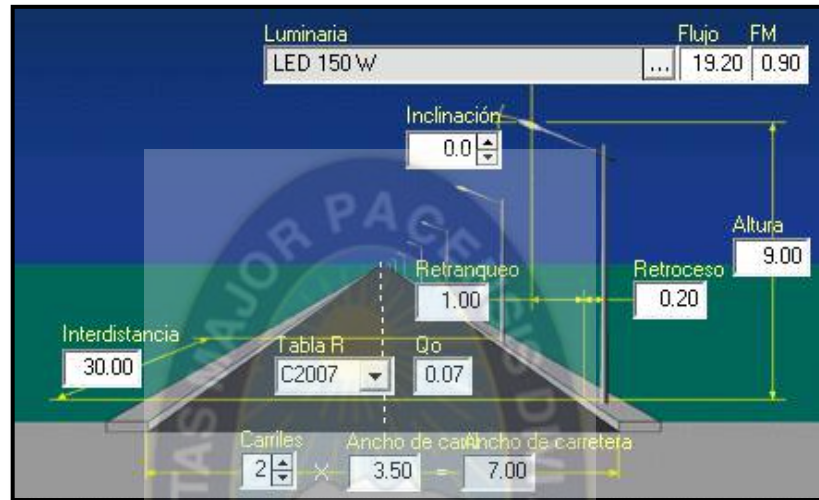
d= 0.2 m

N= 2 vías



Diagrama:

FIGURA 5-1. Diseño de calle Federico Zuazo.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la calle Federico Zuazo y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-1. Criterios de evaluación calle Federico Zuazo.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U _o
Reglamentarios NB 1412001-2 M2	20-30	≥0,4
Calculados software Ulysse	37	0,596
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la calle Federico Zuazo, norma NB 1412001-2 y software Ulysse y anexo C-1.

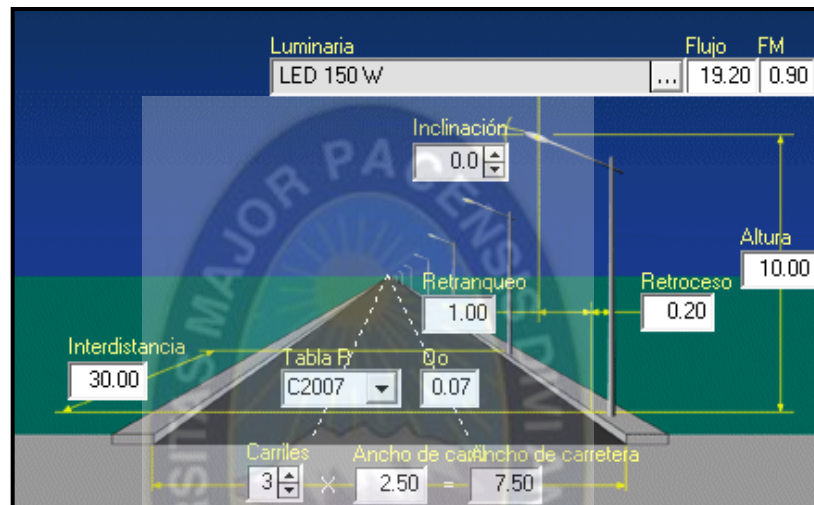
La tabla 5-1 nos indica que con las luminarias LED 150 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



❖ Caso de estudio de la Av. 6 de Agosto

Diagrama:

FIGURA 5-2. Diseño de Av. 6 de Agosto.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. 6 de Agosto y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-2. Criterios de evaluación Av. 6 de Agosto.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U_0
Reglamentarios NB 1412001-2 M2	20-30	$\geq 0,4$
Calculados software Ulysse	33,5	0,671
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av, 6 de Agosto, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-2.

La tabla 5-2 nos indica que con las luminarias LED 150 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



Disposición Bilateral en oposición

- ❖ Caso de estudio de la Av. Mariscal Santa Cruz

Diagrama:

FIGURA 5-3. Diseño de Av. Mariscal Santa Cruz.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Mariscal Santa Cruz y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-3. Criterios de evaluación Av. Mariscal Santa Cruz.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U ₀
Reglamentarios NB 1412001-2 M1	30-50	$\geq 0,4$
Calculados software Ulysse	34,3	0,869
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Mariscal Santa Cruz, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-3.

La tabla 5-3 nos indica que con las luminarias LED 150 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



❖ Caso de estudio de la Av. Camacho

Diagrama:

FIGURA 5-4. Diseño de Av. Camacho.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Camacho y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-4. Criterios de evaluación Av. Camacho.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U_0
Reglamentarios NB 1412001-2 M2	20-30	$\geq 0,4$
Calculados software Ulysse	20,1	0,68
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Camacho, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-4.

La tabla 5-4 nos indica que con las luminarias LED 45 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



- ❖ Caso de estudio de la Av. Arce.

Diagrama:

FIGURA 5-5. Diseño de Av. Arce.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Arce y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-5. Criterios de evaluación Av. Arce.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U ₀
Reglamentarios NB 1412001-2 M1	30-50	$\geq 0,4$
Calculados software Ulysse	31,5	0,649
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Arce, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-5.

La tabla 5-5 nos indica que con las luminarias LED 110 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



❖ Caso de estudio de la Av. Roma.

Diagrama:

FIGURA 5-6. Diseño de Av. Roma.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Roma y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-6. Criterios de evaluación Av. Roma.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U.
Reglamentarios NB 1412001-2 M1	30-50	$\geq 0,4$
Calculados software Ulysse	30,4	0,758
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Roma, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-6.

La tabla 5-6 nos indica que con las luminarias LED 98 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación, se subió la potencia debido a que la vía pertenece a M1.

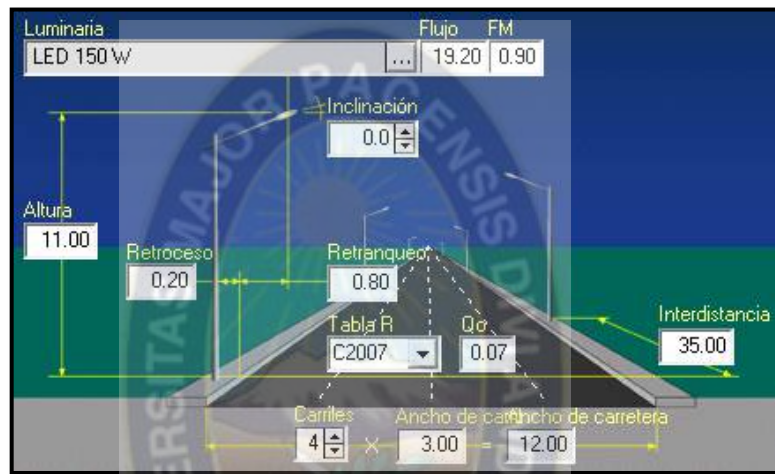


Disposición Bilateral alternada

- ❖ Caso de estudio de la Av. Del Poeta.

Diagrama:

FIGURA 5-7. Diseño de Av. Del Poeta.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Del Poeta y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-7. Criterios de evaluación Av. Del Poeta.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U ₀
Reglamentarios NB 1412001-2 M2	20-30	≥0,4
Calculados software Ulysse	22,1	0,544
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Del Poeta, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-7.

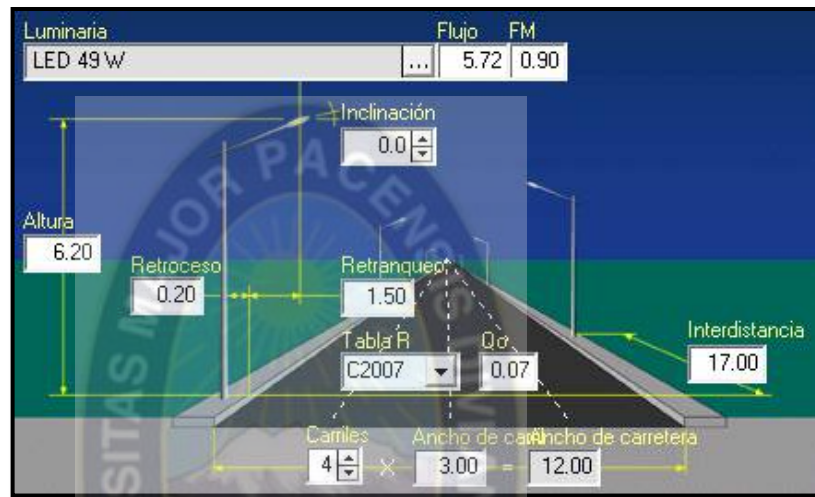
La tabla 5-7 nos indica que con las luminarias LED 150 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



❖ Caso de estudio de la Av. Hernando Siles.

Diagrama:

FIGURA 5-8. Diseño de Av. Hernando Siles.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Hernando Siles y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-8. Criterios de evaluación Av. Hernando Siles.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U ₀
Reglamentarios NB 1412001-2 M2	20-30	≥0,4
Calculados software Ulysse	20,3	0,602
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Hernando Siles, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-8.

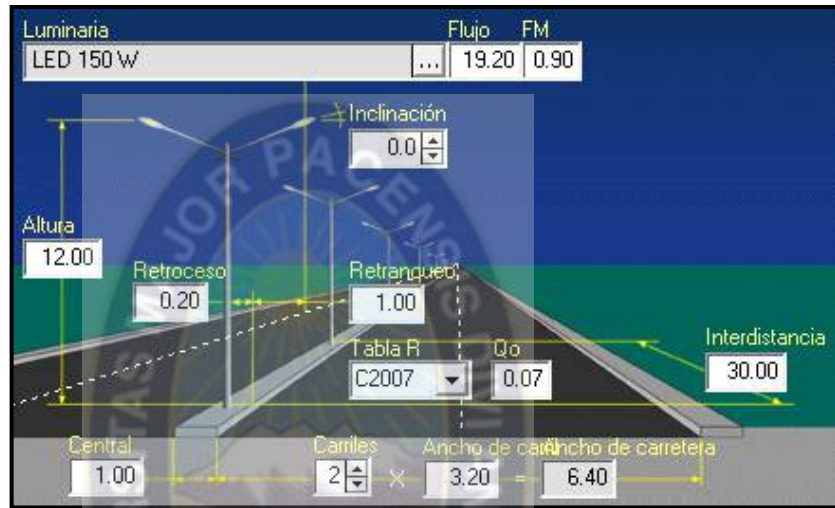
La tabla 5-8 nos indica que con las luminarias LED 49 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



❖ Caso de estudio de la Av. Montes.

Diagrama:

FIGURA 5-9. Diseño de Av. Montes.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Montes y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-9. Criterios de evaluación Av. Montes.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U _o
Reglamentarios NB 1412001-2 M1	30-50	≥0,4
Calculados software Ulysse	41,2	0,734
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Montes, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-9.

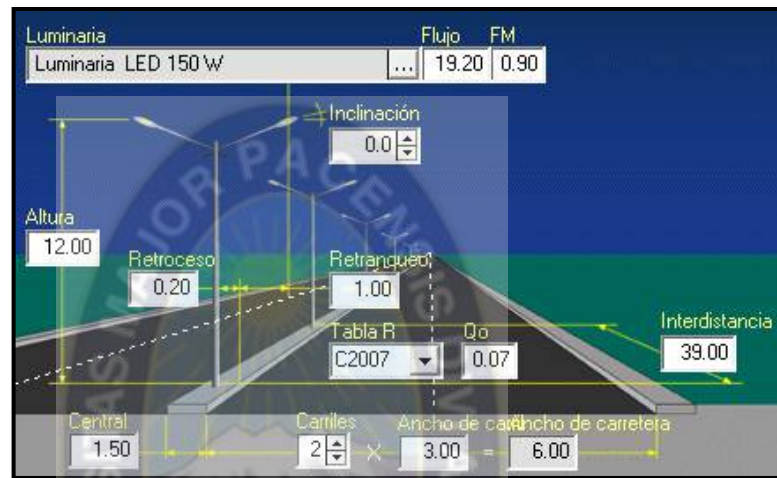
La tabla 5-9 nos indica que con las luminarias LED 150 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señaladas en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



- ❖ Caso de estudio de la Av. Las Américas.

Diagrama:

FIGURA 5-10. Diseño de Av. Las Américas.



Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Las Américas y software Ulysse.

Evaluación de criterios fotométricos:

TABLA 5-10. Criterios de evaluación Av. Las Américas.

Valores	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U ₀
Reglamentarios NB 1412001-2 M2	20-30	≥0,4
Calculados software Ulysse	31,1	0,575
Resultado	Válido	Válido

Fuente: Elaborado con base en datos tomados en la Av. Las Américas, norma NB 1412001-2, software Ulysse y anexo C-10.

La Tabla 5-10 de arriba nos indica que con las luminarias LED 150 W se cumple con los criterios de evaluación de iluminancia media y uniformidad señalados en la norma NB 1412001-2 debido a que se encuentran dentro de los parámetros de aceptación.



5.2 Comparación de criterios de control de la situación sin proyecto y con proyecto LED

La tabla 5-11 nos muestra las dos situaciones con y sin proyecto LED de las evaluaciones de iluminancia media y uniformidad.

TABLA 5-11. Comparación luminotécnica de la situación con proyecto y sin proyecto del Alumbrado Público de la ciudad de La Paz.

Caso de Estudio	Luminarias Convencionales		Luminarias LED	
	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U_0	Iluminancia Media E[Lux]	Uniformidad U_0
Calle Federico Zuazo	35,8	0,470	37,0	0,596
Av. 6 de Agosto	32,4	0,534	33,5	0,671
Av. Mariscal Santa Cruz	41,0	0,755	34,3	0,869
Av. Camacho	23,3	0,670	20,1	0,680
Av. Arce	34,7	0,609	31,5	0,649
Av. Roma	32,5	0,645	30,4	0,758
Av. Del Poeta	22,9	0,572	22,1	0,544
Av. Hernando Siles	21,7	0,406	20,3	0,602
Av. Montes	43,6	0,688	41,2	0,734
Av. Las Américas	38,8	0,542	31,2	0,575

Fuente: Elaborado con base en datos del capítulo 4 punto 4.3 y del capítulo 5 punto 5.1, obtenidos con el software Ulysse.

Analizando los datos obtenidos de las mediciones luminotécnicas y contrastando con los criterios de control de la norma NB 1412001-2, se concluye que con la situación con proyecto de cambio de tecnología a LED en alumbrado público se cumplen con los requisitos de norma en cuanto a iluminación media y uniformidad para calzada oscura.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO TÉCNICO





En la situación actual, el alumbrado público de la ciudad de La Paz cuenta con 43.166 luminarias de distintas tecnologías convencionales: Vapor de NA, Halogenuro MET, Vapor de HG, y otras descritas en el capítulo 4. Para realizar la comparación se toma la luminaria Vapor de NA 250 contra luminaria LED 150 W.

La tabla 6-1 muestra el cambio aproximado según la potencia de luminarias convencionales a tecnología LED.

TABLA 6-1. Reemplazo de potencias de luminarias convencionales a LED

Luminaria Convencional	Luminaria LED
Vapor de NA 250	LED 150
Vapor de NA 150	LED 90
Vapor de NA 100	LED 60
Vapor de NA70	LED 45
Vapor de HG 250	LED 130
Vapor de HG 175	LED 90
Gas de HG 160	LED 90
Vapor de HG 125	LED 60

Fuente: Elaborado con base en el catálogo de luminarias SCHREDER.

6.1 Luminaria viaria Vapor de NA 250 W.

Las características técnicas de la luminaria de acuerdo al catálogo presentado por el fabricante SCHREDER se encuentran en los anexos D-1 y D-2 y se resumen en la tabla 6-2:



FIGURA 6-1. Luminaria Vapor de NA 250 W.



Fuente: Elaborado con base en el catálogo de luminarias SCHREDER Modelo Ambar-3.

TABLA 6-2. Características técnicas, luminaria, VNA 250 W.

Característica	Unidad	Luminaria 250 (W)
Tensión Nominal	V	100 v
Corriente de lámpara	A	2,95
Potencia de la fuente	W	250
Frecuencia	Hz	50
Flujo luminoso a 100 horas	lm	33.200
Eficacia luminosa	lm/W	130
Temperatura de color	K	2000
Índice de Reproducción Cromática	<=	25
Dimensiones	mm	700*320*200
Peso	Kg	6,2
Hermeticidad	IP	65
Resistencia mecánica	IK	0,8
Vida promedio	Horas	32.000

Fuente: Elaborado con base en el catálogo de luminarias SCHREDER Modelo Ambar-3 y lámpara NAV-T 250 W SUPER 4Y.



6.2 Luminaria viaria LED 150 W.

Las características técnicas de la luminaria de acuerdo al catálogo presentado por el fabricante se resumen en la tabla 6-3:

FIGURA 6-2. Luminaria LED 150 W.



Fuente: Elaborado con base en el catálogo de luminarias SCHREDER Modelo AKILA.

TABLA 6-3. Características técnicas de la luminaria SCHREDER, 150 W

Característica	Unidad	Luminaria SCHREDER 151 (W)
Voltaje de línea	V	120 a 270
Corriente de línea	A	0,65
Potencia de línea	W	152
Frecuencia	Hz	50
Factor de potencia	FP	1
Voltaje de salida	V(DC)	–
Corriente de salida	A(DC)	0,53
Potencia de salida	W	–
Flujo luminoso	lm	20.500
Eficacia luminosa	lm/W	110
Temperatura de color	K	4250



Dimensiones	mm	723*494*171
Peso	Kg	11,5
Temperatura de trabajo	C	25
Hermeticidad	IP	66
Resistencia mecánica	IK	0,8
Vida promedio	Horas	100.000

Fuente: Elaborado con base en el catálogo de luminaria SCHREDER Modelo AKILA.

6.3 Comparación de las características técnicas de luminarias tecnología LED y Vapor de NA.

La comparación entre las dos tecnologías se muestra a continuación:

6.3.1 Consumo de energía.

La tabla 6-3 muestra la energía consumida durante un año por una luminaria tanto con la tecnología Vapor de NA 250 W y LED 150 W.

TABLA 6-3. Energía consumida durante 1 año para Vapor de NA 250 W y LED 150 W.

Luminarias	Potencia real de la luminaria [W]	Total potencia req. Por la luminaria [KW]	Funcionamiento durante 1 año [Hr]	Energía consumida durante 1 año [KWH]
Luminaria LED 150 W	151	0,15	4.380	661,38
Luminaria Vapor de Na 250 W	280	0,28	4.380	1.226,40

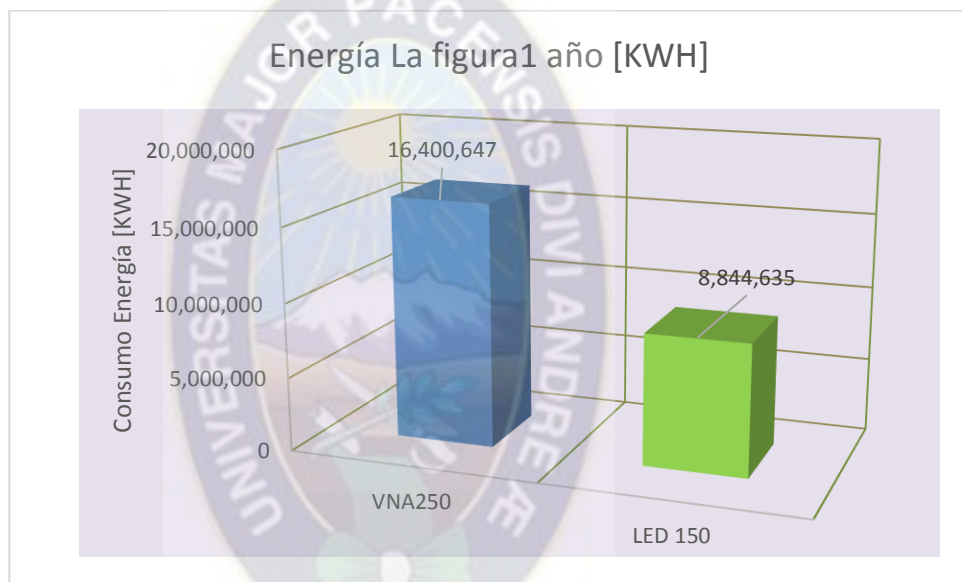
Fuente: Elaborado con base en datos de la unidad de servicios eléctricos y catálogos SCHREDER para luminarias Vapor de NA 250 W y LED 150 W.

La tabla anterior indica que la energía consumida durante un año por una luminaria LED 150 W es 46% menos que la luminaria Vapor de NA 250 W.



Según La figura 6-3 la energía consumida por 13.373 luminarias Vapor de NA 250 W es un 46,1% más alto que la consumida por LED 150 W, es decir, se consume 7.556.012 KWH más con la tecnología Vapor de NA en comparación con la tecnología LED.

FIGURA 6-3. Comparación de energía utilizada de las luminarias VNA 250 W y LED 150 W.

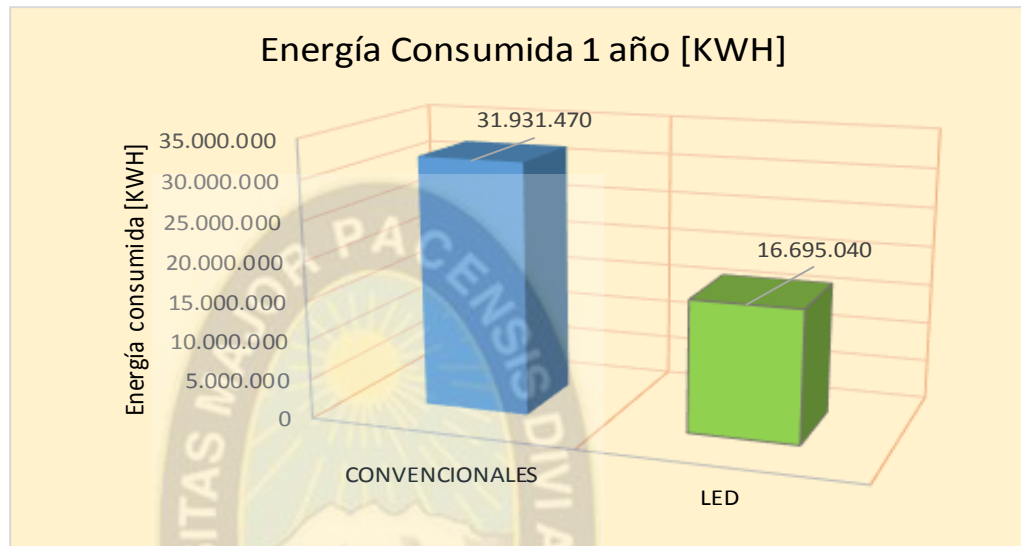


Fuente: Elaborado con base en La tabla 6-3 y cantidades de luminarias Vapor de NA 250 W y LED 150 W.

La figura 6-4 muestra la energía consumida por luminarias convencionales es un 47,7% más alto que la energía consumida por los LED's, es decir, se consume 15.236.430 KWH más con la tecnología convencional en comparación con la tecnología LED.



FIGURA 6-4. Comparación de energía utilizada entre luminarias Convencionales y LED.



Fuente: Elaborado con base en la suma de consumo de energía de las luminarias convencionales y LED calculados con datos proporcionados por GAMLP.

6.3.2 Flujo Luminoso

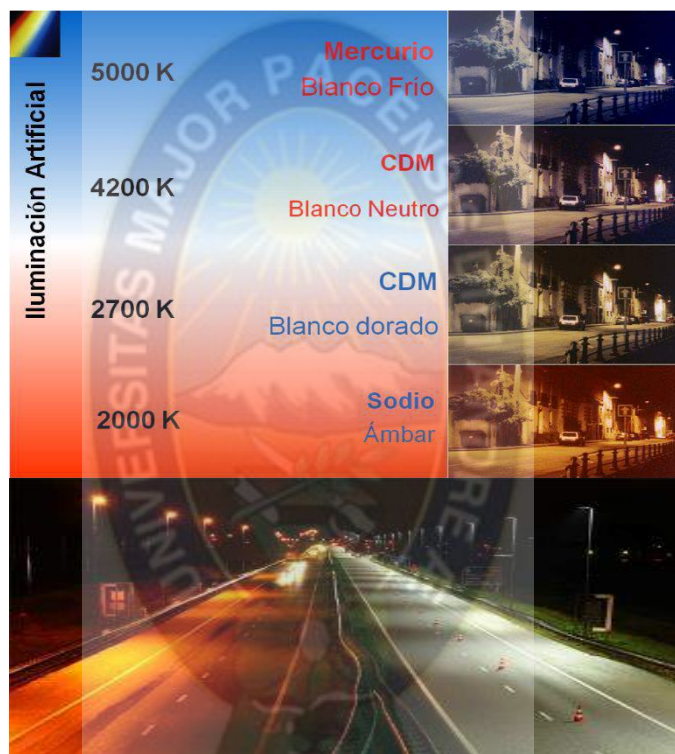
El flujo luminoso de la luminaria VNA 250 [33.200 lumen] es superior a la luminaria LED 150 [20.500 lumen]. Pero en la luminaria LED se tiene controladores y opciones de regulación para ofrecer una amplia variedad de paquetes lumínicos desde 6.000 hasta 40.000 lm, con esta flexibilidad se garantiza que las distribuciones fotométricas estén específicamente adaptadas a las necesidades reales del área que debe ser iluminada.



6.3.3 Temperatura de color

La temperatura de color de la luminaria Vapor de NA 250 [2.000 °K] es inferior que la luminaria LED [4.250 °K].

FIGURA 6-5. Apariencia del color según su temperatura de color.



Fuente: Elaborado con base en datos de catálogo de Philips y energesa.

Con la tecnología LED se tiene una mayor temperatura de color, esta incide en la visibilidad, mejorando los colores del ambiente como se muestra en la figura de arriba un antes y un después.



6.3.4 CRI

El índice de reproducción cromática de los LED [>80] es superior a las luminarias Vapor de NA [<70] como muestra la tabla 6-4. Al tener los LED's un CRI más alto implica que tienen un mejor reconocimiento del color, permaneciendo los colores naturales a la percepción del ojo humano.

TABLA 6-4. Índice de reproducción cromática.

Tipo de lámpara	IRC
Lámpara incandescente	100
Lámpara halógena	100
Lámpara fluorescente compacta	15-85
Lámpara de haluro metálico	65-93
Lámpara de inducción	79
Sodio de Alta Presión	0-70
Sodio de Baja Presión	0
LED	80-95

Fuente: Elaborado con base en datos del libro “Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo” (Esteban José Domínguez -Julian Ferrer, 2012).

❖ Vida Promedio:

La vida promedio de la luminaria LED [100.000 horas] es superior que la luminaria VNA [32.000 horas].



FIGURA 6-6. Tiempo de vida de luminaria Vapor de NA 250 y LED 150 W.



Fuente: Elaborado con base en datos de catálogos SCHREDER para luminarias VNA 250 W y LED 150 W.

La luminaria LED dura 3 veces más que una luminaria convencional VNA.

6.3.5 Diámetro del brazo metálico.

Para el proyecto de cambio de tecnología en alumbrado público no se incurrirá en costos de cambio de brazo metálico en los poste porque técnicamente el reemplazo es directo, es decir, para el caso de la luminaria VNA 250W y la luminaria LED 150W utilizan el mismo diámetro de 2" en el brazo metálico, por tanto su cambio de tecnología es directo.



La tabla 6-5 muestra el diámetro del brazo metálico requerido en cada tipo de luminaria.

TABLA 6-5. Diámetro nominal en pulgadas del brazo metálico del poste.

Luminaria Convencional	Luminaria LED	Diámetro del brazo metálico
Vapor de NA 250	LED 150	2"
Vapor de NA 150	LED 90	2"
Vapor de NA 100	LED 60	1 1/2"
Vapor de NA70	LED 45	1 1/4"
Vapor de HG 250	LED 130	2"
Vapor de HG 175	LED 90	2"
Vapor de HG 160	LED 90	2"
Vapor de HG 125	LED 60	1 1/2"

Fuente: Elaborado con base en datos de la unidad de servicios eléctricos del GAMLP e ISO-65 serie liviana.

CAPÍTULO VII

ESTUDIO ECONÓMICO





7.1 Estudio Económico

7.1.1 Análisis Costo-Eficiencia.

El Foco está puesto en la identificación, cuantificación y valoración de los costos asociados al proyecto, Para construir indicadores de rentabilidad como el Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE).

El proyecto de reemplazo responde al término de la vida útil de los equipos que componen el alumbrado público.

Los diferentes costos asociados para cada alternativa tecnológica son:

- ❖ Costo de inversión: corresponden a la adquisición de los equipos, incluyendo la inversión total en la compra.

TABLA 7-1. Costos de inversión de luminarias LED.

Reemplazo de luminaria	Equipo	Cantidad	Precio Unitario [Bs]/luminaria	Costo total [Bs]
VNA 250	Luminaria LED 151 W	13.373,00	5.000,00	66.865.000,00
VNA 150	Luminaria LED 90 W	3.309	4.000,00	13.236.000,00
VNA 100	Luminaria LED 60 W	382	2.500	955.000,00
VNA 70	Luminaria LED 45 W	17.608	1.850,00	32.574.800,00
VGH 250	Luminaria LED 130 W	889	4.000,00	3.556.000,00
VGH 175	Luminaria LED 90 W	4.183	2.900,00	12.130.700,00
VGH 125	Luminaria LED 60 W	2.094	2.000,00	4.188.000,00
GAS HG 160	Luminaria LED 90 W	684	2.900,00	1.983.600,00
Total				135.489.100,00

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP y catalogo SCHREDER.

- ❖ Costo de energía eléctrica: Es el consumo de energía eléctrica multiplicado por 0,79 Bs, donde:

$$e = 4.380 \text{ Hr} * \text{potencia requerida por la luminaria KW} * \text{N}^\circ \text{ luminarias.}$$

$$e = \text{energía anual consumida en [KWH].}$$



- ❖ Costo de Mantenimiento: son aquellos en que se incurre periódicamente para mantener los equipos en buen estado y para que estos entreguen el servicio de iluminación adecuado.

Incluyen: cambios en fotocontrol, ignitor, condensador, lámpara, luminaria y limpieza, ajuste y apriete. Los precios varían de acuerdo de la potencia de la luminaria, en la tabla 7-2 se muestra para el ejemplo de luminaria VNA 250 W y LED 150 W.

TABLA 7-2. Costos de mantención a tomar en cuenta para la situación con proyecto para luminaria Led 150 W.

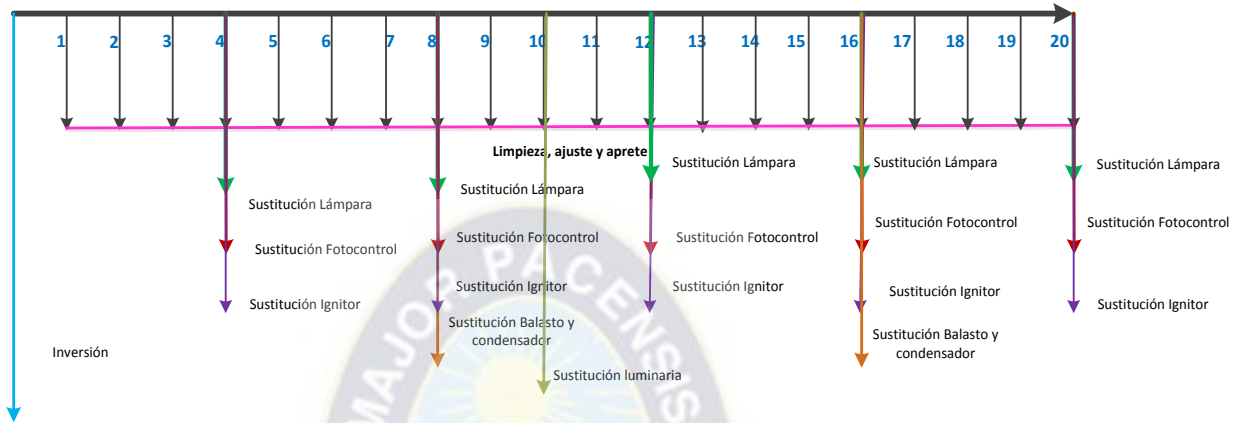
Ítem	Precio de mercado Bs/Hr
VNA 250 W	
Instalador eléctrico	20
Materiales Limpieza, ajuste y apriete	26,86
Cambio de Fotocontrol	78,22
Cambio de Balasto	254,15
Cambio de Ignitor	70
Cambio condensador	36
Cambio luminaria	1.950,00
Cambio lámpara	130
LED 150 W	
Instalador eléctrico	20
Materiales Limpieza, ajuste y apriete	26,86
Cambio Driver	500

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAML P y catalogo SCHREDER.

El diagrama 7-1 nos muestra el flujo de fondos de la situación sin proyecto que toma en cuenta los 3 costos principales:



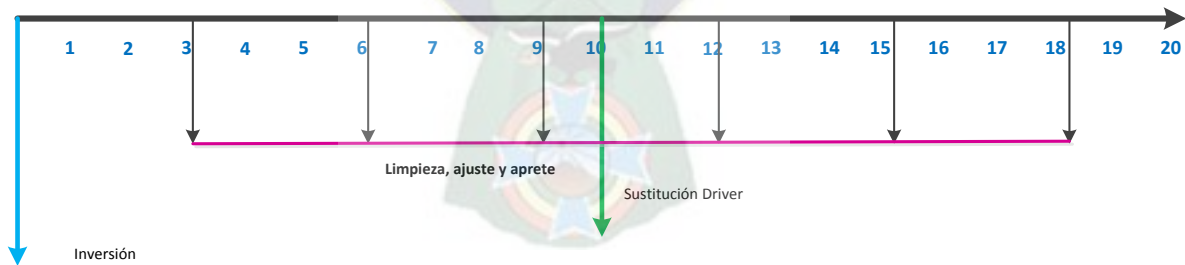
DIAGRAMA 7-1. Flujo de Fondos sin proyecto luminarias convencionales.



Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP.

El diagrama 7-2 nos muestra el flujo de fondos de la situación con proyecto que toma en cuenta los 3 costos principales:

DIAGRAMA 7-2. Flujo de Fondos con proyecto LED.



Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP y catalogo SCHREDER.



7.1.1.1 Cálculo del VAC y CAE

Para el cálculo del valor actual de los costos (VAC) y el costo anual equivalente (CAE) se tomó 20 años como horizonte de evaluación porque corresponde a los años de vida útil del proyecto. Para asegurar que los equipos en la situación sin proyecto operen en forma correcta se le harán el debido mantenimiento según el diagrama 7-1 y para la situación con proyecto se hará un cambio en el driver en el año diez como mostraba el diagrama 7-2, de esa manera se asegura que alcance su vida útil técnica.

- **Tasa de descuento**

Se usa la tasa de descuento de 12.67% debido a que el proyecto busca lograr un impacto social, además de un ahorro en los recursos recaudados mediante impuestos por el municipio de la paz, mejora de la seguridad ciudadana por las noches, reducción del vandalismo en zonas alejadas de la ciudad y reducción de accidentes de tránsito por baja iluminación entre otros. El proyecto no tiene el objetivo de ser rentable en el tiempo, sino, pretende optimizar los recursos que administra el Gobierno Municipal de La Paz en pro de una mejor calidad de vida de los habitantes de la ciudad, por este motivo, el proyecto usa la tasa de descuento social para hallar un CAE con los flujos calculados y de este modo demostrar que, si bien el proyecto no pretende ser rentable, es eficiente en el ahorro de costos por consumo de energía para el Gobierno Municipal de La Paz y logra un impacto social positivo para las personas que habitan en la ciudad de La Paz.

- **Costos equilibrados**

Según el reglamento básico de preinversión (Ministerio de planificación del desarrollo, 2015), la evaluación económica es la comparación de los beneficios y costos atribuibles a la ejecución del proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto con el objetivo de emitir un juicio sobre la conveniencia de su ejecución y el aporte al bienestar neto de la sociedad. Por tal razón el flujo de caja del proyecto es corregido por las razones precio cuenta de eficiencia.



TABLA 7-3. Razones Precio Cuenta Vigentes.

Detalle	Valor
RPC Divisa	1,24
RPC Mano de obra calificada	1,00
RPC Mano de obra semicalificada	0,43
RCP Mano de obra no calificada urbana	0,23
RCP Mano de obra no calificada rural	0,47

Fuente: Elaborado con base en datos de razones precio cuenta: resolución ministerial N° 159 del 22 de septiembre del 2006.

❖ Vapor de NA 250 W Vs LED 150 W

Se construyen el flujo de fondos actualizados a una tasa del 12,67% explicado anteriormente desde el año cero al año 20 y se suman para obtener un valor actual de los costos (VAC) y después un costo anual equivalente (CAE) de 13.373 luminarias.

Los costos de operación y mantenimiento se han estimado utilizando los datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP y se han completado con antecedentes provistos por el fabricante. Estos son corregidos por las razones precio cuenta de eficiencia.

Las tablas 7-4, 7-5 y 7-6 muestran el cálculo para corregir las distorsiones de los precios de mercado de los costos de operación, mantención e inversión de la tecnología de vapor de sodio.

TABLA 7-4. Costos de operación total tecnología vapor de sodio 250 W.

Ítem	Costo Privado Bs	Factor de corrección	Costos social Bs
Costo de energía	12.956.511,29	1,00	12.956.511,29
Ingeniero eléctrico	84.000,00	1,00	84.000,00
Total			13.040.511,29

Fuente: Elaborado con base en datos de resolución AE N° 604/2015 (Estudio tarifario DELAPAZ), consumo de energía según catálogo luminarias SCHREDER y número de luminarias (U.S.E).



Los costos de mantención no son los totales porque cada año varía según la duración de cada componente de la luminaria, en el anexo E-1 se muestra el flujo de mantenimiento.

TABLA 7-5. Costos de mantención por luminaria con tecnología vapor de sodio 250 W.

Ítem	Costo Privado Bs/Hr	Factor de corrección	Costo Social Precio/Unitario [Bs]
Instalador eléctrico y ayudante	60,00	0,43	25,80
Materiales Limpieza, ajuste y apriete	45,00	1,24	55,80
Cambio de Fotocontrol	80,00	1,24	99,20
Cambio de Balasto	270,00	1,24	334,80
Cambio de Ignitor	80,00	1,24	99,20
Cambio condensador	40,00	1,24	49,60
Cambio luminaria	1.850,00	1,24	2.294,00
Cambio lámpara	135,00	1,24	167,40

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP.

TABLA 7-6. Costos de inversión total tecnología vapor de sodio 250 W.

Descripción	Costo Privado	Factor de corrección	Costos social
Luminaria con sus componentes	24.740.050,00	1,24	30.677.662,00
Instalador eléctrico	534.920,00	0,43	230.015,60
Total			30.907.677,60

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP.

En las tablas 7-7, 7-8 y 7-9 se muestran las correcciones con los precios cuenta de eficiencia para los costos de operación, mantención e inversión calculados para la tecnología Led.



TABLA 7-7. Costos de operación total tecnología Led 150 W.

ítem	Costo Privado	Factor de corrección	Costos social
Costo de energía	6.987.261,44	1,00	6.987.261,44
Ingeniero eléctrico	84.000,00	1,00	84.000,00
Total			7.071.261,44

Fuente: Elaborado con base en datos de resolución AE N° 604/2015 (Estudio tarifario DELAPAZ), consumo de energía según catálogo luminarias SCHREDER y número de luminarias (U.S.E).

TABLA 7-8. Costos de mantención por luminaria con tecnología Led 150 W.

ítem	Costo Privado Bs	Factor de corrección	Costos social Bs
Material Limpieza, ajuste y apriete	45,00	1,24	55,80
Instalador eléctrico	60,00	0,43	25,80
Cambio Driver año 10	250,00	1,24	310,00

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP y catálogo SCHREDER Akila.

TABLA 7-9. Costos de inversión total tecnología Led 150W.

Descripción	Costo Privado	Factor de corrección	Costos social
Luminaria con sus componentes	60.178.500,00	1,24	74.621.340,00
Instalador eléctrico	534.920,00	0,43	230.015,60
Total			74.851.355,60

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAMLP

Los resultados del VAC y CAE se muestran en la tabla 7-10 y figuras 7-1, 7-2 y 7-3.



TABLA 7-10. Flujo de fondos de la luminaria Vapor de NA 250 W y LED 150 W.

Año	VNA 250		LED 150 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	30.907.678	30.907.678	74.851.356	74.851.356
1	14.131.748	12.542.601	7.071.261	6.276.082
2	14.131.748	11.132.156	7.071.261	5.570.322
3	14.131.748	9.880.320	8.162.498	5.706.873
4	19.023.591	11.804.819	7.071.261	4.387.971
5	14.131.748	7.783.132	7.071.261	3.894.533
6	14.131.748	6.907.901	8.162.498	3.990.004
7	14.131.748	6.131.092	7.071.261	3.067.883
8	24.164.173	9.304.769	7.071.261	2.722.893
9	14.131.748	4.829.712	8.162.498	2.789.642
10	44.809.410	13.592.091	10.802.328	3.276.683
11	14.131.748	3.804.562	7.071.261	1.903.731
12	19.023.591	4.545.618	8.162.498	1.950.399
13	14.131.748	2.997.009	7.071.261	1.499.647
14	14.131.748	2.659.989	7.071.261	1.331.008
15	14.131.748	2.360.867	8.162.498	1.363.637
16	24.164.173	3.582.937	7.071.261	1.048.490
17	14.131.748	1.859.751	7.071.261	930.585
18	14.131.748	1.650.618	8.162.498	953.397
19	14.131.748	1.465.002	7.071.261	733.060
20	19.023.591	1.750.357	7.071.261	650.625

Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VNA	151.492.982	VAC LED	128.898.821
CAE	21.139.172	CAE	17.986.406

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAML P y catálogos de la luminaria



Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 3.152.765 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La situación sin proyecto inicio con una inversión menor con respecto a la situación con proyecto. Sin embargo a medida que transcurre el tiempo los costos de energía y mantenimiento de la situación sin proyecto aumentan con una diferencia en el CAE de 3.152.765 Bs más alto que la situación con proyecto por año. Las figuras 7-1 y 7-2 muestran los costos de inversión, mantenimiento y energía eléctrica para 20 años de la situación con y sin proyecto.

FIGURA 7-1. Costos acumulados de las luminarias Vapor de NA 250 W.

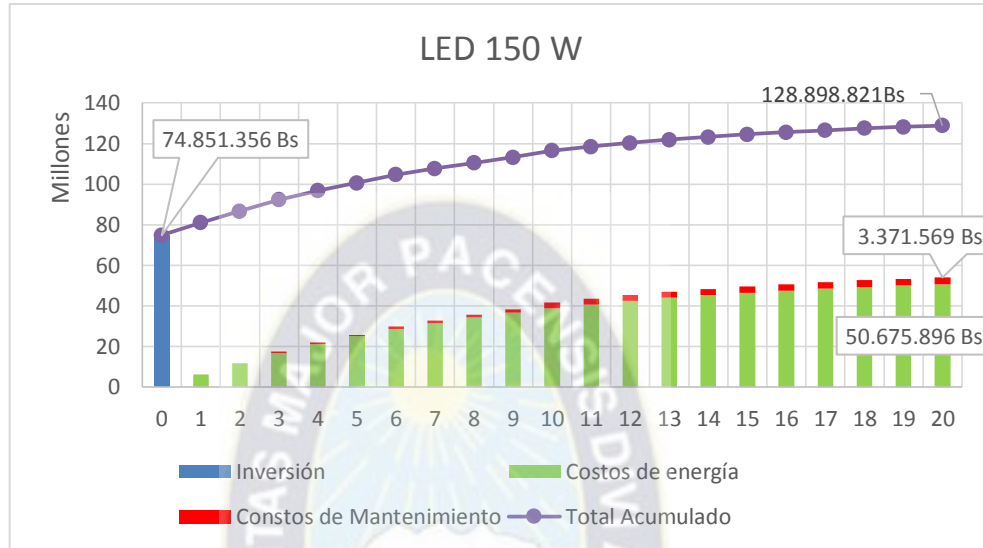


Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-10 de flujo de fondos para VNA 250 W.

La figura 7-1 indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de Vapor de NA, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 93.454.273 Bs y los costos de mantenimiento a 27.131.031 Bs.



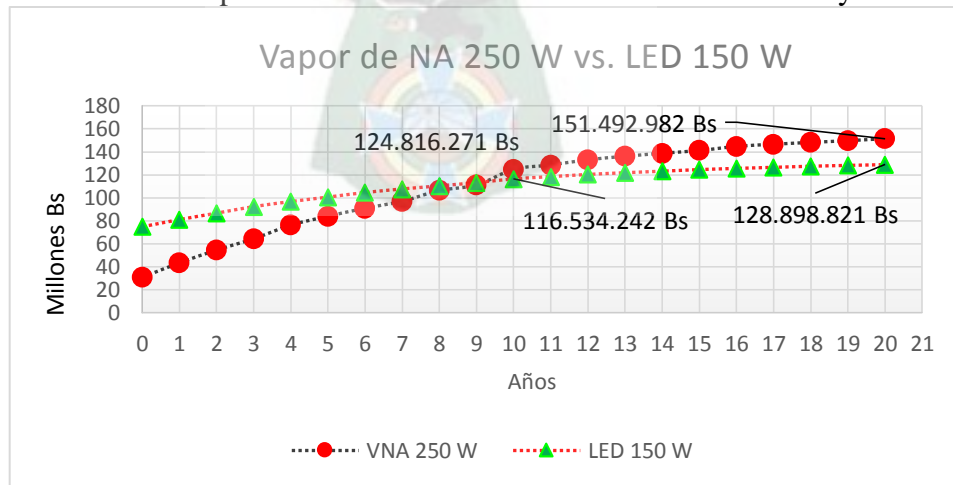
FIGURA 7-2. Costos acumulados de las luminarias LED 150 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-10 de flujo de fondos para LED 150 W.

La figura 7-2 indica que para el año 20 en la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 50.675.896 Bs y los costos de mantenimiento a 3.371.569 Bs.

FIGURA 7-3. Comparación económica de luminarias VNA 250 W y LED 150 W.



Fuente: Elaborado con base en las figuras 7-1 y 7-2 de los costos acumulados de Vapor de NA 250 W y LED 150 W.



La figura 7-3, muestra que para el año 10 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de sodio a pesar de haber iniciado 2,42 veces más alto en inversión, sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 14,91 %, es decir, 22.594.160 Bs menos que en la situación sin proyecto.

❖ Vapor de NA 150 W Vs LED 90 W

El cálculo se realizó para 3.309 luminarias. Los resultados del flujo de fondos neto y actualizado se muestran en la tabla 7-11 y figura 7-4.

TABLA 7-11. Flujo de fondos de la luminaria Vapor de NA 150 W y LED 90 W.

Año	VNA 150		LED 90 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	5.744.424	5.744.424	13.187.027	13.187.027
1	2.216.481	1.967.232	1.030.482	914.602
2	2.216.481	1.746.013	1.030.482	811.753
3	2.216.481	1.549.669	1.300.497	909.252
4	3.303.818	2.050.137	1.030.482	639.451
5	2.216.481	1.220.738	1.030.482	567.543
6	2.216.481	1.083.463	1.300.497	635.711
7	2.216.481	961.625	1.030.482	447.077
8	4.182.510	1.610.537	1.030.482	396.802
9	2.216.481	757.512	1.300.497	444.462
10	7.960.905	2.414.791	1.686.988	511.716
11	2.216.481	596.723	1.030.482	277.427
12	3.303.818	789.435	1.300.497	310.749
13	2.216.481	470.063	1.030.482	218.541
14	2.216.481	417.203	1.030.482	193.965
15	2.216.481	370.288	1.300.497	217.263
16	4.182.510	620.161	1.030.482	152.795
17	2.216.481	291.691	1.030.482	135.612
18	2.216.481	258.890	1.300.497	151.901
19	2.216.481	229.777	1.030.482	106.827
20	3.303.818	303.984	1.030.482	94.814



Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VNA	25.454.356	VAC LED	21.325.291
CAE	3.551.874	CAE	2.975.709

Fuente: Elaborado con base datos de costo de inversión, energía eléctrica y mantenimiento proporcionados por el GAMLP y Catálogos de SCHREDER.

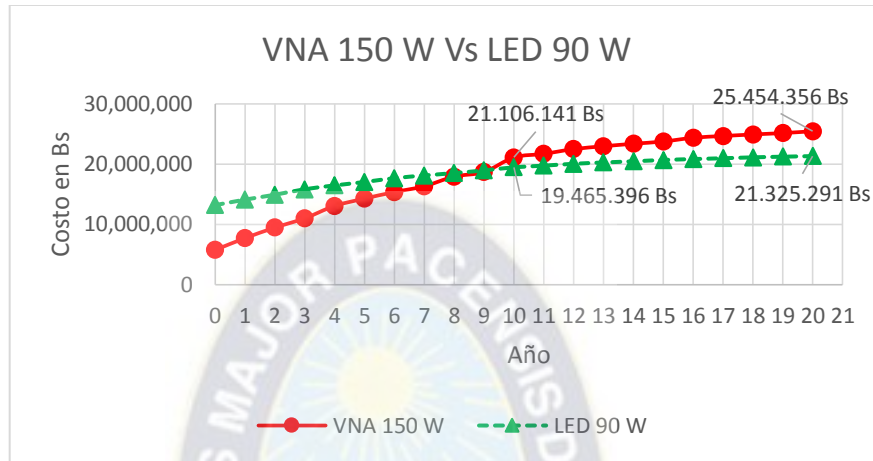
El mínimo costo para 3.309 luminarias es el correspondiente a la tecnología LED, por tanto se recomienda realizar el reemplazo de tecnología.

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 576.165 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La figura 7-4 de abajo indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de Vapor de NA, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 13.949.269 Bs y los costos de mantenimiento a 5.760.663 Bs y para la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 7.384.907 Bs y los costos de mantenimiento a 753.357 Bs.



FIGURA 7-4. Comparación económica de luminarias VNA 150 W y LED 90 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-11.

Para el año 10 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de sodio a pesar de haber iniciado 2,3 veces más alto en inversión, sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 16,22 %, es decir, 4.129.064 Bs menos que en la situación sin proyecto.

❖ Vapor de NA 100 W Vs LED 60 W

El cálculo se realizó para 382 luminarias y los datos proporcionados para obtener los costos de mantención están en la tabla 7-12.

TABLA 7-12. Datos de luminaria Vapor de NA 100 W y LED 60 W.

Tecnología	Vapor de NA 100 W	LED 60 W
Cantidad luminarias	382	382
Vida Útil	10	20
Limpieza, ajuste y apriete	Cada año	Cada 3 años
Cambio fotocontrol	Cada 4 años	-
Cambio de balasto	Cada 8 años	-
Cambio ignitor	Cada 4 años	-
Cambio condensador	Cada 8 años	-
Cambio driver	-	Cada 10 años

Fuente: Elaborado con base datos del GAMLP y Catálogos de SCHREDER.



Los resultados del flujo de fondos neto y actualizado se muestran en la tabla 7-12 y figura 7-6.

TABLA 7-13. Flujo de fondos de la luminaria VNA 100 W y LED 60 W.

Año	VNA 100		LED 60 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	622.354	622.354	953.930	953.930
1	203.005	180.176	98.342	87.283
2	203.005	159.915	98.342	77.468
3	203.005	141.932	129.513	90.550
4	316.688	196.516	98.342	61.025
5	203.005	111.806	98.342	54.162
6	203.005	99.233	129.513	63.309
7	203.005	88.074	98.342	42.666
8	400.600	154.257	98.342	37.868
9	203.005	69.380	129.513	44.263
10	818.789	248.364	145.710	44.198
11	203.005	54.653	98.342	26.476
12	316.688	75.671	129.513	30.947
13	203.005	43.052	98.342	20.856
14	203.005	38.211	98.342	18.511
15	203.005	33.914	129.513	21.637
16	400.600	59.399	98.342	14.582
17	203.005	26.716	98.342	12.942
18	203.005	23.711	129.513	15.127
19	203.005	21.045	98.342	10.195
20	316.688	29.138	98.342	9.048

Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VNA	2.477.520	VAC LED	1.737.040
CAE	345.711	CAE	242.385

Fuente: Elaborado con base datos de costo de inversión, energía eléctrica y mantenimiento proporcionados por el GAML P y Catálogos de SCHREDER.

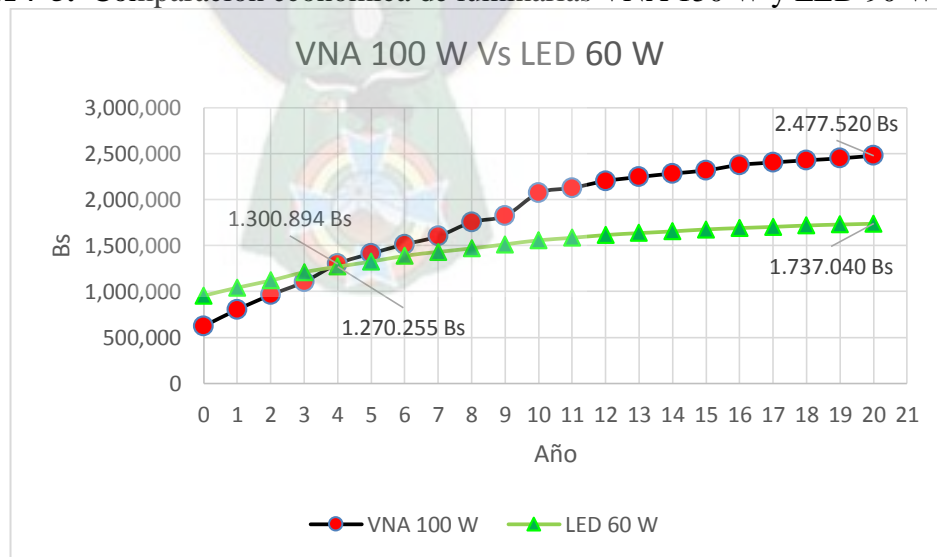


El mínimo costo para 382 luminarias es el correspondiente a la tecnología LED, por tanto se recomienda realizar el reemplazo de tecnología.

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 103.326 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La figura 7-5 indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de VNA, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 1.231.438 Bs y los costos de mantenimiento a 623.728 Bs y para la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 704.761 Bs y los costos de mantenimiento a 78.349 Bs.

FIGURA 7-5. Comparación económica de luminarias VNA 150 W y LED 90 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-13.



Para el año 4 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de sodio a pesar de haber iniciado con casi el doble en inversión, sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 29,84 %, es decir, 736.479 Bs menos que en la situación sin proyecto.

❖ Vapor de NA 70 W Vs LED 45 W

El cálculo se realizó para 17.608 luminarias y los datos proporcionados para obtener los costos de mantención están en la tabla 7-14.

TABLA 7-14. Datos de luminaria Vapor de NA 70 W y LED 45 W.

Tecnología	Vapor de NA 70 W	LED 45 W
Cantidad luminarias	17.608	17.608
Vida Útil	10	20
Limpieza, ajuste y apriete	Cada año	Cada 3 años
Cambio fotocontrol	Cada 4 años	-
Cambio de balasto	Cada 8 años	-
Cambio ignitor	Cada 4 años	-
Cambio condensador	Cada 8 años	-
Cambio driver	-	Cada 10 años

Fuente: Elaborado con base datos del GAMLP y Catálogos de SCHREDER.

Los resultados del flujo de fondos neto y actualizado se muestran en la tabla 7-15 y figura 7-6.



TABLA 7-15 Flujo de fondos de la luminaria Vapor de NA 70 W y LED 45 W.

Año	VNA 70		LED 45 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	22.136.778	22.136.778	39.603.914	39.603.914
1	7.858.540	6.974.829	3.399.738	3.017.430
2	7.858.540	6.190.493	3.399.738	2.678.113
3	7.858.540	5.494.358	4.836.551	3.381.511
4	12.662.002	7.857.225	3.399.738	2.109.659
5	7.858.540	4.328.131	3.399.738	1.872.423
6	7.858.540	3.841.423	4.836.551	2.364.210
7	7.858.540	3.409.446	3.399.738	1.474.984
8	16.093.203	6.196.923	3.399.738	1.309.119
9	7.858.540	2.685.760	4.836.551	1.652.955
10	29.692.460	9.006.649	5.364.791	1.627.308
11	7.858.540	2.115.683	3.399.738	915.280
12	12.662.002	3.025.540	4.836.551	1.155.676
13	7.858.540	1.666.610	3.399.738	721.004
14	7.858.540	1.479.196	3.399.738	639.925
15	7.858.540	1.312.857	4.836.551	808.000
16	16.093.203	2.386.216	3.399.738	504.095
17	7.858.540	1.034.191	3.399.738	447.409
18	7.858.540	917.894	4.836.551	564.919
19	7.858.540	814.675	3.399.738	352.442
20	12.662.002	1.165.028	3.399.738	312.809

Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VNA	94.039.906	VAC LED	67.513.186
CAE	13.122.230	CAE	9.420.719

Fuente: Elaborado con base datos de costo de inversión, energía eléctrica y mantenimiento proporcionados por el GAMLP y Catálogos de SCHREDER.

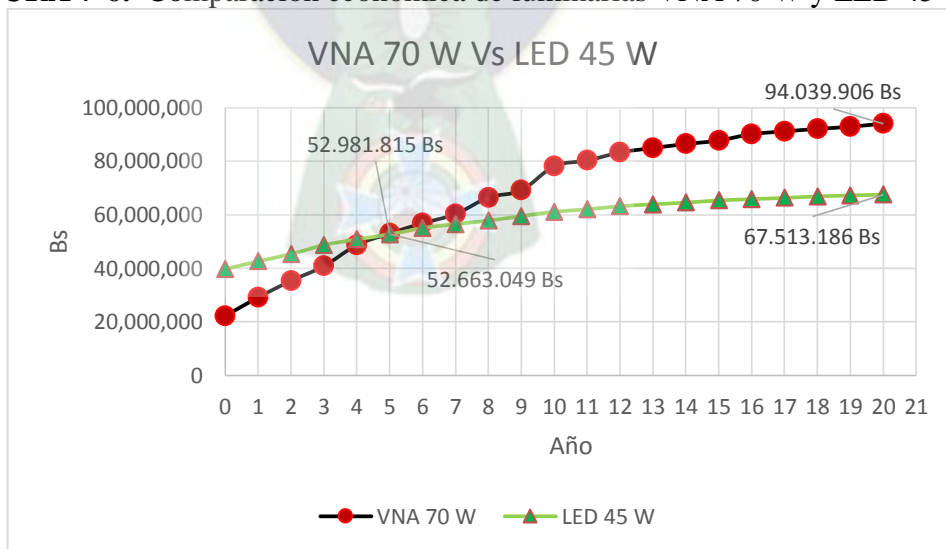


El mínimo costo para 17.608 luminarias es el correspondiente a la tecnología LED, por tanto se recomienda realizar el reemplazo de tecnología.

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 3.678.558 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La figura 7-6 indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de VNA, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 46.021.035 Bs y los costos de mantenimiento a 25.882.093 Bs y para la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 24.364.078 Bs y los costos de mantenimiento a 3.545.195 Bs.

FIGURA 7-6. Comparación económica de luminarias VNA 70 W y LED 45 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-15.



Para el año 5 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de sodio, ya que sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 28,21 %, es decir, 26.526.720 Bs menos que en la situación sin proyecto.

❖ Vapor de HG 250 W Vs LED 130 W

El cálculo se realizó para 889 luminarias y los datos proporcionados para obtener los costos de mantención están en la tabla 7-16.

TABLA 7-16. Datos de luminaria Vapor de HG 250 W y LED 130 W.

Tecnología	Vapor de HG 250 W	LED 130 W
Cantidad luminarias	889	889
Vida Útil	10	20
Limpieza, ajuste y apriete	Cada año	Cada 3 años
Cambio fotocontrol	Cada 4 años	-
Cambio de balasto	Cada 8 años	-
Cambio ignitor	Cada 4 años	-
Cambio condensador	Cada 8 años	-
Cambio driver	-	Cada 10 años

Fuente: Elaborado con base datos del GAMLP y Catálogos de SCHREDER.

Los resultados del flujo de fondos neto y actualizado se muestran en la tabla 7-17 y figura 7-7.



TABLA 7-17. Flujo de fondos de la luminaria Vapor de HG 250 W y LED 130 W.

Año	VHG 250		LED 130 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	1.889.303	1.889.303	3.571.291	3.571.291
1	1.102.427	978.456	495.870	440.108
2	1.102.427	868.427	495.870	390.617
3	1.102.427	770.770	568.413	397.410
4	1.344.946	834.587	495.870	307.705
5	1.102.427	607.167	495.870	273.103
6	1.102.427	538.890	568.413	277.852
7	1.102.427	478.290	495.870	215.134
8	1.612.819	621.040	495.870	190.942
9	1.102.427	376.769	568.413	194.263
10	2.976.439	902.847	936.814	284.165
11	1.102.427	296.796	495.870	133.499
12	1.344.946	321.370	568.413	135.820
13	1.102.427	233.799	495.870	105.162
14	1.102.427	207.507	495.870	93.337
15	1.102.427	184.173	568.413	94.960
16	1.612.819	239.140	495.870	73.525
17	1.102.427	145.080	495.870	65.257
18	1.102.427	128.766	568.413	66.392
19	1.102.427	114.286	495.870	51.406
20	1.344.946	123.748	495.870	45.625

Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VHG	10.861.211	VAC LED	7.407.573
CAE	1.515.562	CAE	1.033.645

Fuente: Elaborado con base datos de costo de inversión, energía eléctrica y mantenimiento proporcionados por el GMLP y Catálogos de SCHREDER.

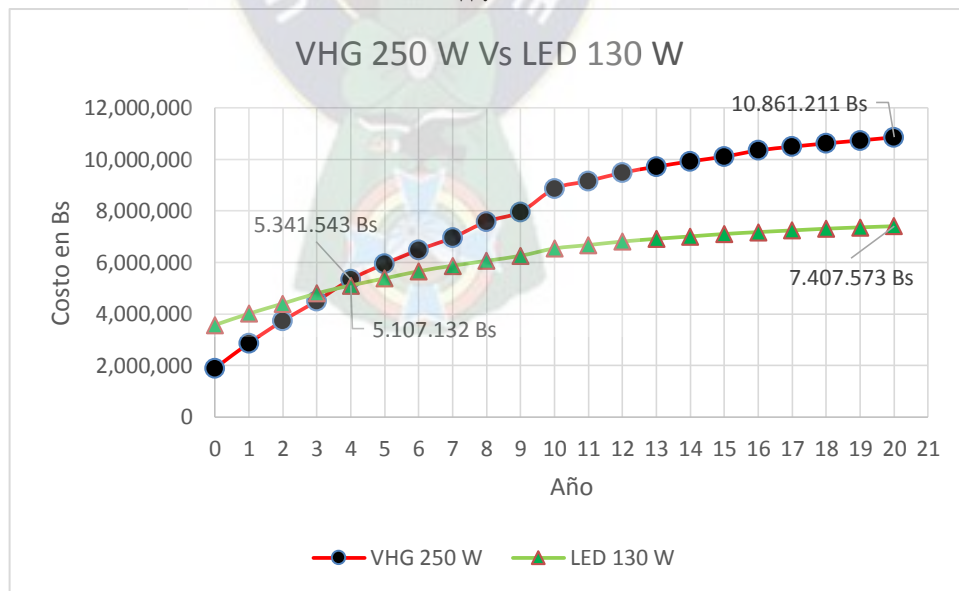


El mínimo costo para 889 luminarias es el correspondiente a la tecnología LED, por tanto se recomienda realizar el reemplazo de tecnología.

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 481.917 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La figura 7-7 indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de Vapor de HG, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 7.380.622 Bs y los costos de mantenimiento a 1.591.286 Bs y la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 3.553.633 Bs y los costos de mantenimiento a 282.649 Bs.

FIGURA 7-7. Comparación económica de luminarias Vapor de HG 250 W y LED 130 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-17.



Para el año 4 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de mercurio, ya que sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 31,80 %, es decir, 3.453.637 Bs menos que en la situación sin proyecto.

❖ Vapor de HG 175 W Vs LED 90 W

El cálculo se realizó para 4.183 luminarias y los datos proporcionados para obtener los costos de mantención están en la tabla 7-18.

TABLA 7-18. Datos de luminaria Vapor de HG 175 W y LED 90 W.

Tecnología	Vapor de HG 175 W	LED 90 W
Cantidad luminarias	4.183	4.183
Vida Útil	10	20
Limpieza, ajuste y apriete	Cada año	Cada 3 años
Cambio fotocontrol	Cada 4 años	-
Cambio de balasto	Cada 8 años	-
Cambio ignitor	Cada 4 años	-
Cambio condensador	Cada 8 años	-
Cambio driver	-	Cada 10 años

Fuente: Elaborado con base datos del GAML P y Catálogos de SCHREDER.

Los resultados del flujo de fondos neto y actualizado se muestran en la tabla 7-19 y figura 7-8.



TABLA 7-19. Flujo de fondos de la luminaria Vapor HG 175 W y LED 90 W.

Año	VHG 175		LED 90 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	6.597.428	6.597.428	14.595.324	14.595.324
1	3.751.411	3.329.556	1.615.300	1.433.656
2	3.751.411	2.955.140	1.615.300	1.272.438
3	3.751.411	2.622.828	1.956.633	1.367.995
4	4.788.795	2.971.619	1.615.300	1.002.352
5	3.751.411	2.066.109	1.615.300	889.635
6	3.751.411	1.833.770	1.956.633	956.444
7	3.751.411	1.627.558	1.615.300	700.802
8	5.815.805	2.239.461	1.615.300	621.995
9	3.751.411	1.282.094	1.956.633	668.705
10	11.843.006	3.592.353	2.341.469	710.241
11	3.751.411	1.009.958	1.615.300	434.873
12	4.788.795	1.144.265	1.956.633	467.530
13	3.751.411	795.585	1.615.300	342.567
14	3.751.411	706.120	1.615.300	304.044
15	3.751.411	626.715	1.956.633	326.877
16	5.815.805	862.337	1.615.300	239.508
17	3.751.411	493.689	1.615.300	212.575
18	3.751.411	438.173	1.956.633	228.539
19	3.751.411	388.899	1.615.300	167.454
20	4.788.795	440.616	1.615.300	148.623

Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VHG	38.024.275	VAC LED	27.092.178
CAE	5.305.868	CAE	3.780.414

Fuente: Elaborado con base datos de costo de inversión, energía eléctrica y mantenimiento proporcionados por el GAML P y Catálogos de SCHREDER.

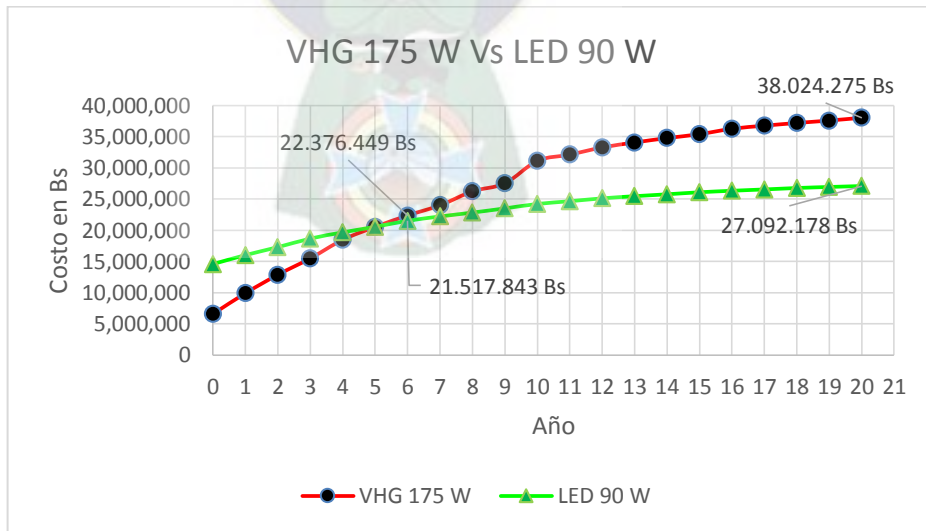


El mínimo costo para 4.183 luminarias es el correspondiente a la tecnología LED, por tanto se recomienda realizar el reemplazo de tecnología.

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 1.525.453 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La figura 7-8 indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de Vapor de HG, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 24.438.182 Bs y los costos de mantenimiento a 6.988.666 Bs y para la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 11.575.981 Bs y los costos de mantenimiento a 920.873 Bs.

FIGURA 7-8. Comparación económica de luminarias Vapor de HG 175 W y LED 90 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-19.



Para el año 6 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de mercurio, ya que sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 28,75 %, es decir, 10.932.097 Bs menos que en la situación sin proyecto.

❖ Vapor de HG 125 W Vs LED 60 W

El cálculo se realizó para 2.094 luminarias y los datos proporcionados para obtener los costos de mantención están en la tabla 7-20.

TABLA 7-20. Datos de luminaria Vapor de HG 125 W y LED 60 W.

Tecnología	Vapor de HG 125 W	LED 60 W
Cantidad luminarias	2.094	2.094
Vida Útil	10	20
Limpieza, ajuste y apriete	Cada año	Cada 3 años
Cambio fotocontrol	Cada 4 años	-
Cambio de balasto	Cada 8 años	-
Cambio ignitor	Cada 4 años	-
Cambio condensador	Cada 8 años	-
Cambio driver	-	Cada 10 años

Fuente: Elaborado con base datos del GAMLP y Catálogos de SCHREDER.

Los resultados del flujo de fondos neto y actualizado se muestran en la tabla 7-21 y figura 7-10.



TABLA 7-21. Flujo de fondos de la luminaria Vapor de HG 125 W y LED 60 W.

Año	VHG 125		LED 60 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	3.255.751	3.255.751	5.229.137	5.229.137
1	1.338.871	1.188.312	539.077	478.457
2	1.338.871	1.054.683	539.077	424.653
3	1.338.871	936.082	700.943	490.070
4	1.832.217	1.136.956	539.077	334.517
5	1.338.871	737.390	539.077	296.899
6	1.338.871	654.469	700.943	342.636
7	1.338.871	580.872	539.077	233.880
8	2.208.718	850.499	539.077	207.579
9	1.338.871	457.577	700.943	239.557
10	4.558.605	1.382.767	798.733	242.281
11	1.338.871	360.452	539.077	145.131
12	1.832.217	437.802	700.943	167.488
13	1.338.871	283.943	539.077	114.325
14	1.338.871	252.013	539.077	101.469
15	1.338.871	223.673	700.943	117.100
16	2.208.718	327.497	539.077	79.932
17	1.338.871	176.197	539.077	70.943
18	1.338.871	156.383	700.943	81.872
19	1.338.871	138.797	539.077	55.885
20	1.832.217	168.582	539.077	49.600

Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VHG	14.760.696	VAC LED	9.503.410
CAE	2.059.692	CAE	1.326.096

Fuente: Elaborado con base datos de costo de inversión, energía eléctrica y mantenimiento proporcionados por el GAMLP y Catálogos de SCHREDER.

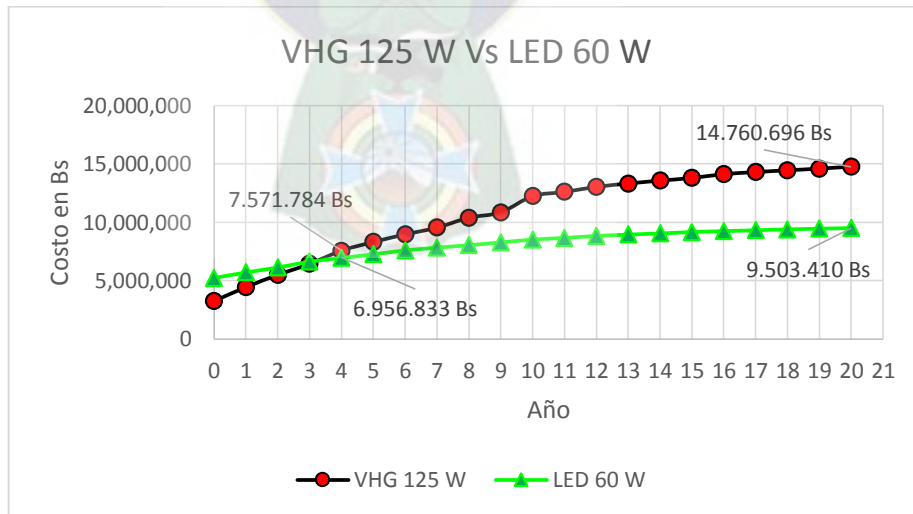


El mínimo costo para 2.094 luminarias es el correspondiente a la tecnología LED, por tanto se recomienda realizar el reemplazo de tecnología.

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 733.596 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La figura 7-9 indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de Vapor de HG, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 8.370.424 Bs y los costos de mantenimiento a 3.134.520 Bs y para la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 3.863.273 Bs y los costos de mantenimiento a 411.001 Bs.

FIGURA 7-9. Comparación económica de luminarias Vapor de HG 125 W y LED 60 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-21.



Para el año 4 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de mercurio, ya que sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 35,62 %, es decir, 5.257.285 Bs menos que en la situación sin proyecto.

❖ Gas de HG 160 W Vs LED 90 W

El cálculo se realizó para 684 luminarias y los datos proporcionados para obtener los costos de mantención están en la tabla 7-22.

TABLA 7-22 Datos de luminaria Gas de HG 160 W y LED 90 W.

Tecnología	Gas de HG 160 W	LED 90 W
Cantidad luminarias	684	684
Vida Útil	10	20
Limpieza, ajuste y apriete	Cada año	Cada 3 años
Cambio fotocontrol	Cada 4 años	-
Cambio de balasto	Cada 8 años	-
Cambio ignitor	Cada 4 años	-
Cambio condensador	Cada 8 años	-
Cambio driver	-	Cada 10 años

Fuente: Elaborado con base datos del GAMLP y Catálogos de SCHREDER.

Los resultados del flujo de fondos neto y actualizado se muestran en la tabla 7-23 y figura 7-9.



TABLA 7-23. Flujo de fondos de la luminaria Vapor HG 160 W y LED 90 W.

Año	GAS HG 160		LED 90 W	
	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado	Flujo de Fondo Neto	Flujo de Fondo Actualizado
0	764.165	764.165	1.926.965	1.926.965
1	613.427	544.446	264.132	234.430
2	613.427	483.222	264.132	208.068
3	613.427	428.882	319.947	223.693
4	774.577	480.653	264.132	163.904
5	613.427	337.848	264.132	145.472
6	613.427	299.856	319.947	156.397
7	613.427	266.137	264.132	114.594
8	878.901	338.434	264.132	101.708
9	613.427	209.647	319.947	109.346
10	1.546.403	469.072	382.875	116.138
11	613.427	165.147	264.132	71.110
12	774.577	185.082	319.947	76.450
13	613.427	130.093	264.132	56.016
14	613.427	115.464	264.132	49.717
15	613.427	102.480	319.947	53.451
16	878.901	130.319	264.132	39.164
17	613.427	80.728	264.132	34.760
18	613.427	71.650	319.947	37.370
19	613.427	63.592	264.132	27.382
20	774.577	71.269	264.132	24.303

Tasa Social	0,1267	Tasa Social	0,1267
VAC VHG	5.738.185	VAC LED	3.970.438
CAE	-800.700	CAE	-554.031

Fuente: Elaborado con base datos de costo de inversión, energía eléctrica y mantenimiento proporcionados por el GAML P y Catálogos de SCHREDER.



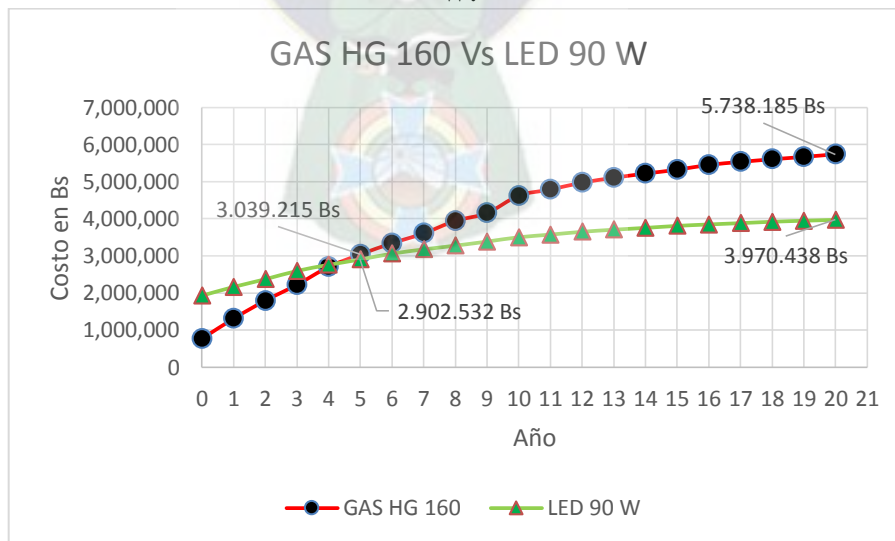
En el anexo E-7 se encuentra más detallado el flujo de fondos.

El mínimo costo para 684 luminarias es el correspondiente a la tecnología LED, por tanto se recomienda realizar el reemplazo de tecnología.

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE con una diferencia menos de 246.669 Bs por año por lo tanto se recomienda realizar el proyecto.

La figura 7-10 indica que para el año 20 en la situación sin proyecto usando tecnología de Vapor de HG, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 4.567.739 Bs y los costos de mantenimiento a 783.341 Bs y para la situación con proyecto usando tecnología LED, los costos acumulados de energía eléctrica ascienden a 2.480.499 Bs y los costos de mantenimiento a 133.444 Bs.

FIGURA 7-10. Comparación económica de luminarias Vapor HG 160 W y LED 90 W.



Fuente: Elaborado con base en la tabla 7-23.



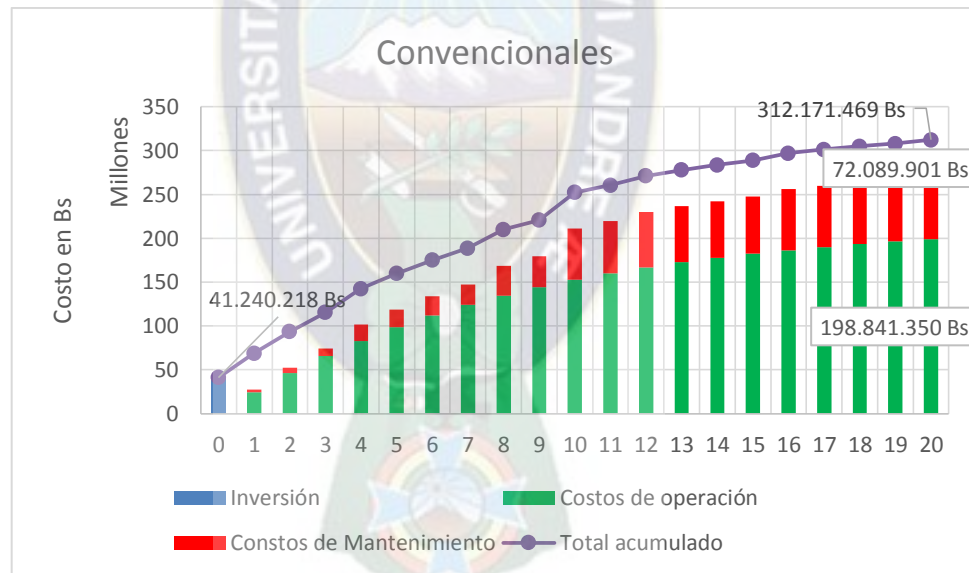
Para el año 5 la tecnología LED es factible en comparación con la tecnología de vapor de mercurio, ya que sus costos de energía eléctrica y mantenimiento se reducen hasta un 30,81 %, es decir, 1.767.747 Bs menos que en la situación sin proyecto.

7.1.2 Comparación Económica Convencionales Vs LED.

❖ Situación sin proyecto

La figura 7-11 muestra la situación sin proyecto, se empieza con una inversión de 60.862.090 Bs en el año 0, los costos acumulados para 20 años de mantenimiento alcanzan 60.025.809 Bs y los costos de energía eléctrica 228.286.437 Bs

FIGURA 7-11. Costos acumulados de las luminarias Convencionales.



Fuente: Elaborado con base en la sumatoria de las tablas de luminarias convencionales.

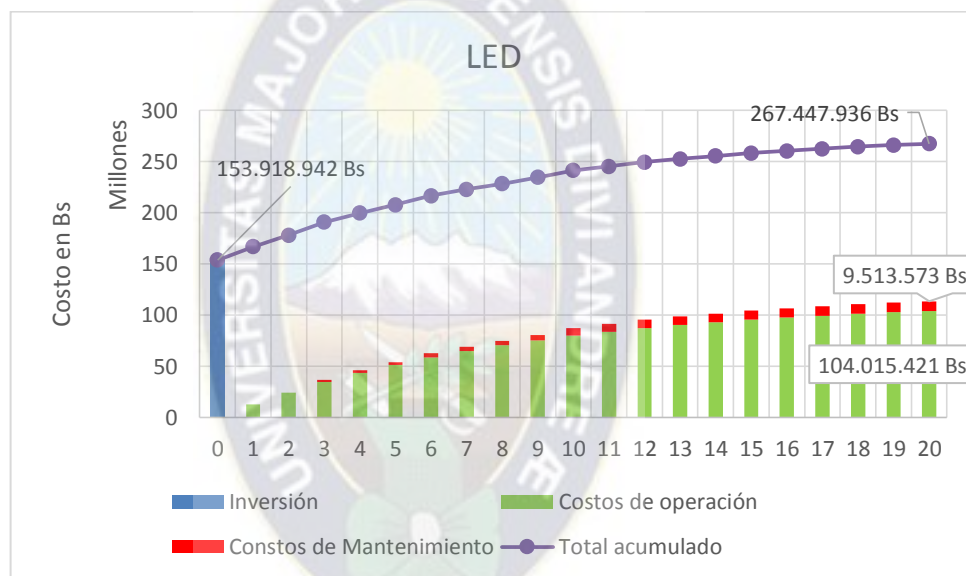
El VAC obtenido con los resultados que muestra la figura 7-11 para la situación sin proyecto es de 312.171.469 y el CAE es de 43.560.079



❖ **Situación con proyecto**

La figura 7-12 muestra la situación con proyecto, se empieza con una inversión de 153.918.942 Bs en el año 0, los costos acumulados para 20 años de mantenimiento alcanzan 9.513.573 Bs y los costos de energía eléctrica 104.015.421 Bs

FIGURA 7-12. Costos acumulados de las luminarias LED.



Fuente: Elaborado con base en la sumatoria de las tablas de luminarias Led.

El VAC obtenido con los resultados que muestra la figura 7-12 para la situación con proyecto es de 267.447.936 y el CAE es de 37.319.404



❖ **Comparación situación sin y con proyecto**

La figura 7-13 muestra que para el año 10, la situación con proyecto es factible porque tiene un menor costo con una diferencia de 10.850.413 Bs, es decir un 4,3 % menos que la situación sin proyecto. Para el año 20 la diferencia es de 44.723.532 Bs, es decir, 14,3 % menos a la situación con luminarias convencionales.

FIGURA 7-13. Comparación económica de luminarias Convencionales y LED.



Fuente: Elaborado con base en la figuras 7-11 y 7-12 de los costos acumulados de luminarias Convencionales y LED.

El resultado de los costos anuales equivalentes de las dos tecnologías son:

$$CAE_{L. Convencionales} = 43.560.079$$

$$CAE_{L. Led} = 37.319.404$$

Por tanto $CAE_{L. Led} < CAE_{L. Convencionales}$

Los indicadores muestran que lo más conveniente económicamente es la tecnología LED porque se obtiene el menor CAE.



❖ **Parámetro Costo Eficiencia**

El análisis costo-eficiencia representa el costo promedio por unidad de beneficio de una alternativa. Permite valorar si los objetivos del proyecto en términos de beneficiarios, servicios y/o productos se alcanzan al mínimo costo. (Reglamento básico de preinversión, 2015).

Para el cálculo del parámetro costo eficiencia se tomó dos alternativas: situación sin proyecto (luminarias tradicionales) y situación con proyecto (luminarias Led):

Fórmula de cálculo:

$$PCE_{EE} = \frac{CAE}{Producto}$$

Luminarias tradicionales:

$$PCE_{EE} = \frac{43.560.080}{43.166} = 1.009$$

Luminarias Led:

$$PCE_{EE} = \frac{37.319.405}{43.166} = 864$$

Para el número de beneficiarios se tomó las 43.166 luminarias de la ciudad de La Paz, escogiendo como el mínimo costo entre las dos alternativas a la tecnología Led

❖ **Análisis Incremental**

La tabla 7-24 muestra el flujo incremental para analizar las dos alternativas tecnológicas con diferentes montos de inversión.



TABLA 7-24. Flujo de fondos Incremental

Año	Inversión	Costo de operación	Costo de mantenimiento	Flujo de fondo actualizado
0	112.678.724	-	-	112.678.724
1		13.231.911	3.469.795	14.823.561
2		13.231.911	3.469.795	13.156.617
3		13.231.911	9.004	9.257.487
4		13.231.911	16.300.522	18.325.931
5		13.231.911	3.469.795	9.198.550
6		13.231.911	9.004	6.472.443
7		13.231.911	3.469.795	7.246.074
8		13.231.911	27.610.616	15.727.013
9		13.231.911	9.004	4.525.258
10		13.231.911	68.514.398	24.796.204
11		13.231.911	3.469.795	4.496.448
12		13.231.911	12.839.731	6.229.724
13		13.231.911	3.469.795	3.542.036
14		13.231.911	3.469.795	3.143.726
15		13.231.911	9.004	2.212.043
16		13.231.911	27.610.616	6.055.917
17		13.231.911	3.469.795	2.197.960
18		13.231.911	9.004	1.546.567
19		13.231.911	3.469.795	1.731.423
20		13.231.911	16.300.522	2.717.273

Tasa Social	0,1267
VAC	44.723.532,11
CAE	6.240.674,79

Fuente: Elaborado con base anexo E-1 y E-2.

Según los resultados de los indicadores de eficiencia es recomendable realizar el cambio de tecnología a LED porque el CAE incremental indica que se ahorraría



6.240.674,19 Bs anualmente y en 20 años 44.723.532,11 Bs en el alumbrado público si se utiliza luminarias Led.

Todo ahorro será para mejorar las vías proyecto de alumbrado público para aquellas zonas que no cuenten con el servicio puedan llamar a la línea gratuita y se los atienda.



CAPÍTULO VIII
BENEFICIOS
SOCIALES Y
AMBIENTALES





El proyecto de reemplazo de tecnología del alumbrado público de la ciudad de La Paz pertenece al tipo III de estudios de preinversión porque su objetivo es mejorar las condiciones de vida de la población paceña, es por ello que en este capítulo se resalta los beneficios pertinentes del proyecto para la comunidad.

La implementación de la tecnología LED en el alumbrado público de la ciudad de La Paz tiene una serie de resultados que provocan un impacto importante en el ámbito social. La mayoría de estos resultados son indirectos, pues el servicio de alumbrado público permite que se mejoren muchos aspectos.

La evaluación social considera aspectos redistributivos de bienes meritorios, en el marco de los derechos fundamentales de la Constitución Política del Estado; objetivos, bases y orientaciones de la Ley N° 300 Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien; y la planificación del desarrollo (Reglamento básico de preinversión, 2015). La Ley N° 300 menciona en el artículo 30:

- Punto 4: Promover la implementación de tecnologías y prácticas que garanticen la mayor eficiencia en la producción y uso de energía en armonía y equilibrio con los sistemas de vida y la Madre Tierra, de acuerdo a la Ley específica.
- Punto 5: Desarrollar políticas de importación, producción y comercialización de tecnologías, equipos y productos de eficiente consumo energético.

Y en el artículo 32:

- ❖ Punto 1: Establecer políticas, estrategias, planes, mecanismos organizativos, institucionales, técnicos y legales para la mitigación y adaptación al cambio climático y desarrollo de medidas de respuesta efectivas a sus impactos en armonía y equilibrio con la Madre Tierra.

Estos puntos sirven como soporte al proyecto de reemplazo de tecnología del alumbrado público de la ciudad de La Paz porque proporcionan un uso eficiente de la energía eléctrica.



8.1 Beneficios Sociales.

La oscuridad es un factor de riesgo; “el alumbrado público es por tanto una herramienta valiosa”, explica la investigadora principal, Fiona Beyer, de la Universidad de Newcastle.

El uso de las luminarias LED en la situación con proyecto impactará en los siguientes puntos:

❖ **Visibilidad**

Dos factores importantes para la visibilidad en vías de circulación son el contraste y tamaño de los objetos. El escenario visual principal del conductor de un vehículo es la superficie de la calzada que actúa como telón de fondo sobre el que se observan los objetos. Es por ello que el objetivo principal del Alumbrado Público es proporcionar suficiente contraste sobre la calzada entre el objeto y el fondo para que sea posible la percepción por un adecuado contraste de color, de luminancia o ambos simultáneamente. Esta tarea se facilita con iluminación uniforme sobre la calzada y control del deslumbramiento. Las luminarias LED al contar con un índice de reproducción cromática mayor al de las luminarias tradicionales tienen un mejor reconocimiento del color, por tanto el ojo humano puede percibir los colores naturales, facilitando así la visibilidad de los objetos.

❖ **Accidentes de tránsito**

Se considera este factor porque no solo son desafortunadas consecuencias del azar, sino que también se debe considerar la percepción del ojo humano, usando tecnología LED se podrá tener un mejor reconocimiento de los objetos por su alto índice de reproducción cromática mayor a 80, es decir, los conductores visualizarán mejor las calles y avenidas. La figura 8-1 muestra la diferencia de la percepción del ojo humano hacia los colores del medio ambiente.



FIGURA 8-1. Luminarias de Vapor de sodio y luminarias LED.



Fuente: Elaborado con imágenes de energetika.

❖ Paisaje Urbano e Iluminación

La Iluminación contribuye durante la noche a realzar plazas, edificios, monumentos, parques, paseos. Al contar con alumbrado público eficiente energéticamente y mejor servicio en cuanto a la percepción percibida, se estará ayudando a la imagen que tiene la ciudad de La Paz como ciudad maravilla, mostrando el atractivo de la ciudad.

❖ Confort

La apariencia visual de la ciudad, se vincula con apreciaciones y valoraciones estéticas y prácticas que sumada a los factores ya mencionados definen la calidad de la iluminación.

El confort de las personas que circulan por calles y veredas como así también las que trabajan o descansan en interiores es otro aspecto de este conjunto de factores. Con las luminarias LED se mejorará en la reproducción de los colores, y en



el deslumbramiento. Estas características afectaran a una mejor percepción visual en las calles y avenidas; y por otro lado no abra intrusión lumínica porque las luminarias al ser flexibles de diseño no darán paso a la intrusión de luz en los ambientes de viviendas y oficinas.

❖ **Incremento de la satisfacción en el servicio de Alumbrado Público**

En el capítulo 7 de este proyecto de grado se realiza una evaluación socio-económica, para ello se utiliza el análisis costo eficiencia ajustado a los precios sociales que dan un ahorro por año de 6.240.674,79Bs en las facturas de consumo de energía eléctrica del alumbrado público, con este ahorro se podrá utilizar el dinero en mejorar la atención en las calles y avenidas que no tengan diseño luminotécnico.

❖ **Disminución del vandalismo e inseguridad existente**

Con el uso de lámparas LED se podrá tener una mejor claridad del lugar y en casos de víctimas de la delincuencia, será más fácil reconocer al agresor porque con una mejor percepción de los objetos se podrá tener las descripciones exactas de cómo estaba vestido el delincuente.

Por otro lado el vandalismo no podrá destrozar las luminarias del alumbrado público del GAMLP porque las luminarias LED tienen IK 08, asegurando el buen estado de las luminarias por su resistencia a fuertes pruebas de impacto.

❖ **Contaminación lumínica**

La contaminación lumínica se genera por un diseño inadecuado de los sistemas de alumbrado público y alumbrado exterior, concretamente por toda aquella luz que no es aprovechada para iluminar el suelo y las construcciones que así lo requieran.

La contaminación lumínica puede manifestarse de diversas formas que pueden clasificarse dentro de cuatro categorías:

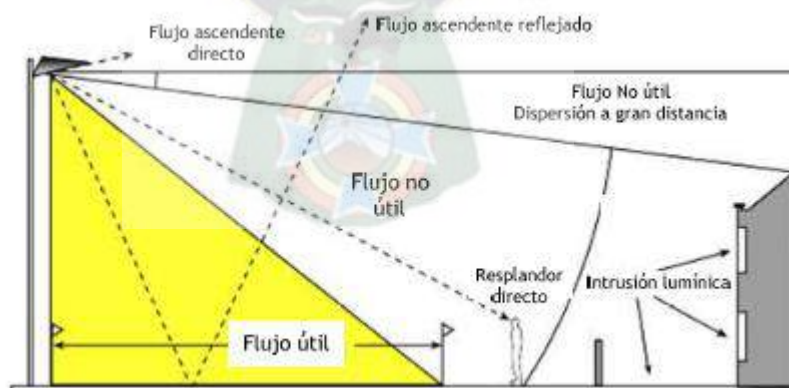
1. **Intrusión lumínica:** Se produce cuando la luz artificial procedente de las luminarias entra por las ventanas invadiendo el interior de las viviendas,



- modificando el entorno doméstico y provocando trastornos de las actividades humanas.
- 2. Difusión de Luz hacia el cielo:** Se produce por la difusión de la luz por parte de las moléculas del aire y del polvo en suspensión. Esto produce que parte del haz sea desviado de su dirección original y acabe siendo dispersado en todas las direcciones, en particular hacia el cielo.
 - 3. Deslumbramiento:** Se produce cuando las personas que transitan por la vía pública, pierden la percepción visual; y es ocasionada por exceso o carencia de luz. Este efecto es especialmente peligroso para el tráfico vehicular, dado que puede producir accidentes.
 - 4. Contraste:** La visibilidad de un objeto situado sobre un fondo, depende de la diferencia de las luminancias entre el objeto y fondo.

La figura 8-2 nos muestra formas de contaminación lumínica.

FIGURA 8-2. Clasificación del flujo de luz en función de la dirección de emisión desde la luminaria.



Fuente: Elaborado con base en información “the institution of Lighting Engineers”.



Los sistemas de alumbrado público con tecnología LED, al contar con un diseño flexible y un CRI >80, aportan a la correcto direccionamiento de la luz y una mejor distribución de la iluminación.

8.2 Beneficios Ambientales.

❖ Contaminación Ambiental

Los sistemas de iluminación de alumbrado público al contar con lámparas convencionales producen residuos altamente contaminantes como el mercurio, metal pesado y tóxico que es liberado al ambiente cuando se destruye la lámpara. La cantidad de mercurio de una lámpara varía desde 3 a 50 mg.

Las lámparas de mercurio de alta presión son las que contienen mayor cantidad de mercurio, pero al pasar el tiempo han sido cambiadas por tecnologías de sodio de alta presión que también poseen mercurio pero en menor cantidad.

Si las luminarias convencionales son eliminadas incorrectamente representan un grave peligro sanitario y si el mercurio se acumula en el cuerpo causa patologías en la piel y daños al cerebro.

Actualmente la unidad de servicios eléctricos del GMLP cuenta con un depósito para las lámparas que han llegado al final de su vida útil y también pagan a una empresa privada para que almacene las lámparas porque no pueden llevarse a los vertederos municipales.

Contrario al otro tipo de tecnologías, la tecnología LED no emplea mercurio, plomo u otro tipo de metales pesados, los cuales son contaminantes al ser arrojados al medio ambiente después de agotada la vida útil de las lámparas.



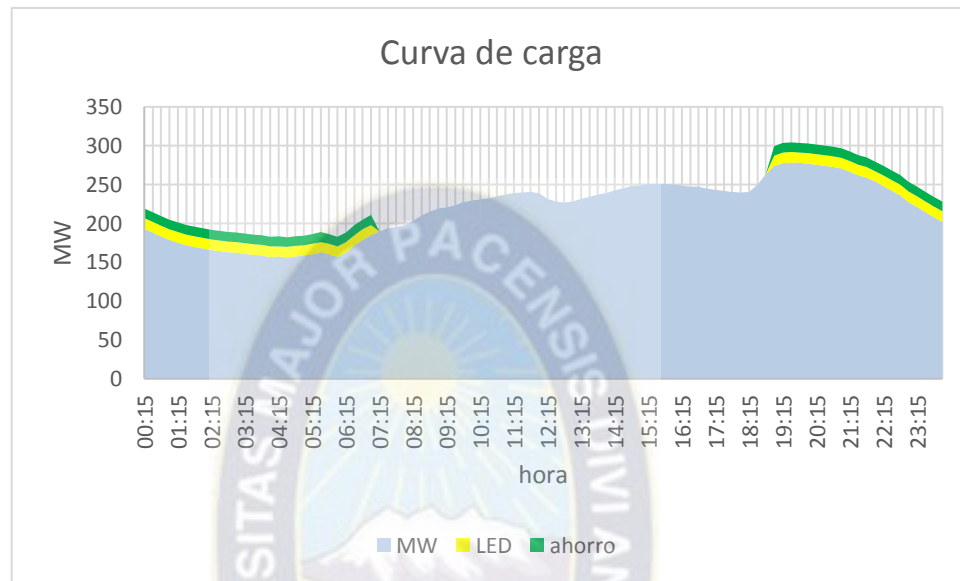
Con la tecnología LED por cada kilowatt ahorrado se evitan 217.25 gramos de agentes contaminantes en la atmosfera, tales como óxido de nitrógeno (NOX), dióxido de azufre (SO₂) ambos causantes de la lluvia acida, y dióxido de carbono (CO₂) que contribuye al aumento del efecto invernadero en la atmosfera e influye en el incremento de la temperatura en la superficie terrestre y como consecuencia en el cambio climático global. Por otro lado también se ayuda a disminuir la utilización del gas natural en 0,012 MMPC por cada MWh ahorrado y diésel oil en 0,012 Klitros por cada MWh ahorrado.

❖ **Protección Ambiental**

El Alumbrado Público de la ciudad de La Paz consume energía suministrada por la empresa DELAPAZ, la cual en el año 2014 según fuentes de la AE (Autoridad de fiscalización y control social de electricidad), consumió 87,452.41 MWh representando un 5.77% de su consumo total en energía eléctrica consumida por 12 horas desde 00:00 am hasta 7:00 am y 19:00 pm hasta las 24:00 pm. La figura 9-1 de abajo muestra la curva de carga de consumo de energía eléctrica de DELAPAZ del 22 de octubre de 2015.



FIGURA 8-3. Curva de carga de consumo de energía en la ciudad de La Paz.



Fuente: Elaborado con base en información del comité nacional de despacho de carga, octubre 2015 y anexo F-1.


La curva de carga de consumo de energía de la ciudad de La Paz, muestra que el máximo consumo de energía es a las 19:30 pm con 304.3 MW. Con el proyecto de cambio de tecnología en alumbrado público se tendría un ahorro de 47,77% menos en consumo de energía explicado en el capítulo 6, el ahorro es representado en la curva de color verde de la figura 8-3.

Si se realizará el proyecto de cambio de tecnología con LED, cada año se reduciría en aproximadamente unas 17,630 toneladas de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, considerando que por cada KWh producido se genera 422.65 g de CO₂ en Bolivia, según (Internacional Energy Agency).



Todo sobre las lámparas LED es a favor del medio ambiente. Sin mercurio u otros tóxicos. Son reciclables. La vida útil de las lámparas LED significa mucho menos basura en los vertederos (1 lámpara LED dura lo mismo que 50 lámparas incandescentes o 10 CFL). La eficiencia extrema de las lámparas LED significa muchísimo menos uso de nuestros recursos de energía; lo que es también un ahorro significativo en emisiones de CO₂. También la luz fría impone menos carga en los sistemas de aire acondicionado; lo que se traduce en ahorros de energía; también menos calor es igual a menos calentamiento global.





CAPÍTULO IX
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES



9.1 Conclusiones

- ❖ Se describió las características de las luminarias del alumbrado público y sus partes internas que la componen.
- ❖ En el marco teórico se identificó las tecnologías de las lámparas utilizadas en las luminarias.
- ❖ Se definió los conceptos de iluminancia media y uniformidad como base para la evaluación técnica.
- ❖ Se analizó la situación actual del alumbrado público en la ciudad de La Paz y se encontró que las luminarias más representativas son las de: vapor de Na, vapor de HG y haluro metálico. También se ha encontrado que las potencias de las luminarias más utilizadas son: 250 W, 175 W, 160 W, 150W, 125 W, 100 W, 70 W, 160 W y otros en menor porcentaje al 1%.
- ❖ Se teorizó la Metodología de los 9 puntos para el cálculo de ingeniería en alumbrado público, pero se ha utilizado el software Ulysse para el cálculo luminotécnico de las luminarias debido a la confiabilidad y agilidad de los cálculos.
- ❖ Se teorizó la clasificación de las vías y disposiciones de los postes con la norma NB 1412001-2, Trabajando con las vías M1 y M2 para los casos de estudio.
- ❖ Se realizó una propuesta del alumbrado público utilizando el software Ulysse con luminarias tecnología LED, cumpliendo los requerimientos establecidos en la norma NB 1412001-2 de acuerdo a la clase de vía.
- ❖ En el estudio técnico se determinó que con luminarias LED: se ahorra 46,1% en el consumo de la energía eléctrica pero manteniendo los niveles de iluminación con la anterior tecnología.
- ❖ Se determinó que con la tecnología LED al tener una mayor temperatura de color y un mayor CRI >80, mejoran en el reconocimiento del color, elevando los niveles de seguridad en las calles y avenidas.



- ❖ Se comparó la vida útil de las luminarias convencionales y las luminarias de la tecnología LED, encontrando que la luminaria led tiene mayor vida útil de 3 veces más que la tecnología convencional.
- ❖ Se determinó que es factible físicamente el reemplazo de luminarias convencionales por tecnología LED, debido a que ambos se instalaran en los mismos brazos de los postes.
- ❖ En el estudio económico se determinó que el CAE de la situación con proyecto es menor que la situación actual, es decir, por año se ahorraría 6.240.674,79 Bs utilizando tecnología LED en el alumbrado público.
- ❖ El proyecto de cambio de tecnología con LED, contribuirá a que cada año se reduzca en aproximadamente unas 17.630 toneladas de emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera, considerando que por cada KWh producido se genera 422,65 g de CO₂.
- ❖ Se concluye que con la utilización de tecnología LED en el alumbrado público se ahorrara en la energía eléctrica, la cual contribuye a disminuir las emisiones de contaminantes a la atmosfera (Contaminantes del cambio climático) y a optimizar los recursos económicos del Municipio, incremento de la satisfacción de los usuarios, reducción de accidentes de tráfico al tener una mejor percepción de la vía, disminución del vandalismo e inseguridad por su alto CRI >80 y mejora de la imagen de la ciudad de La Paz. La sociedad se beneficia al demostrar un gran confort visual, sin contaminación lumínica con mayor eficiencia proporcionando seguridad.



9.2 Recomendaciones

- ❖ Al concluir el estudio se encuentra beneficios: técnicos por dar un uso eficiente de energía al tener mayor duración de la luminaria LED, mayor temperatura de color y CRI; económico por obtener un ahorro en lo KWh consumidos y un ahorro en mantenimiento; ambiental por demostrar un uso eficiente de los recursos energéticos no renovables, disminuir la contaminación lumínica y para la sociedad porque convierte a La Paz en ciudad inteligente y moderna, disminuyendo el vandalismo, accidentes de tráfico y mejorando del servicio de Alumbrado Público, por lo tanto, se recomienda el cambio masivo de las luminarias con tecnología LED.





BIBLIOGRAFÍA

AE (Autoridad de fiscalización y control social de electricidad). (2014). *Memoria Anual*.

La Paz.

AE (Autoridad de fiscalización y control social de electricidad). (2014). *Anuario*

Estadístico. La Paz.

Alcalde San Miguel, P. (2004). *Electrotecnia*. Madrid: Thomson Paraninfo.

Angélica, M., & Sanjinés Ávila, R. (2010). Historia de La PA las fortunas de La Paz.

Nueva Economía, pág. 6.

Ayuntamiento de Coín. (2010). *Adaptación de la Infraestructura de Iluminación Pública a tecnología LED del municipio de Coín*. España.

COBEE. (2007). *Alumbra público*. La Paz.

CODENSA SA. (2011). *likinormas*. Obtenido de Especificaciones técnicas ET 801:

<http://www.likinormas.micodensa.com>

Comité nacional de despacho de carga. (2015). *Curva de carga de consumo de energía eléctrica*. La Paz.

GAMLP. (2014). *Manual técnico para interpretar documentos fotométricos de luminarias de alumbrado público*. La Paz.

Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010).

Metodología de la investigación. Mexico: Mc Graw Hill.

IBNORCA. (Julio de 2013). Alumbrado Público-Definiciones. *NB 1412001-1*. La Paz.



- IBNORCA. (31 de 12 de 2013). Alumbrado público-Reglas generales y especificaciones técnicas para vías de circulación pública. *NB 1412001-2*. La Paz.
- IBNORCA. (2014). NB 777. *Diseño y construcción de instalaciones eléctricas interiores en baja tensión*. La Paz.
- IEC. (2002). IEC 62262. *Calificaciones de los grados de protección IK*. Europa.
- Instituto para la sostenibilidad de Bizkaia. (2013). *Manual de Buenas Prácticas para instituciones con competencias en alumbrado público y alumbrado exterior*. Bizkaia.
- International Energy Agency. (2015). *IEA Statistics World Energy Trends*.
- Ministerio de desarrollo social Chile. (2014). *Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de reemplazo de alumbrado en la vía pública*.
- Ministerio de Planificación Chile. (2014). *Metodología General de Preparación y evaluación de proyectos*.
- NTC Norma técnica Colombiana. (14 de Diciembre de 2011). Reglas generales y especificaciones para el alumbrado público. Bogotá, Colombia: ICONTEC.
- SCHREDER. (2002). Ulysse.
- SCHREDER. (2013). AKILA. *LED SCHREDER*.
- Viceministerio de inversión pública y financiamiento externo. (2015). *REGLAMENTO BÁSICO DE PREINVERSIÓN*. La Paz.



ANEXO A

INTRODUCCIÓN



ANEXO A

FIGURA: A-1. Ubicación geográfica, Capital de la provincia Murillo.



Fuente: Elaboración con base en sinapsis Bolivia.



ANEXO B

SITUACIÓN ACTUAL DE LA CIUDAD DE LA PAZ

ALUMBRADO PÚBLICO LED



ANEXO B

FIGURA: B-1. Factura del Alumbrado público

GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL LA PAZ - FACTURACIÓN ENERO/2015

1 ALUMBRADO PÚBLICO CON EQUIPO DEL GAMLP CLIENTE: 222521-1 MP1-05400-1
 N° Dias del Mes: 31 Horas de Servicio: Luminarias = 11 Semáforos = 24

	N° LUMINARIAS	POT. LUMINARIA (W)	POT. TOTAL (W)	ENERGIA (kWh)
VAPOR DE HG 125W	2,094	140	293,160	99,968
VAPOR DE HG 175W	4,183	190	794,770	271,017
VAPOR DE HG 250W	889	270	240,030	81,850
VAPOR DE HG 400W	0	430	0	0
HALOGENURO MET 70W	8	85	680	232
HALOGENURO MET 150W	124	170	21,080	7,188
HALOGENURO MET 250W	183	280	51,240	17,473
HALOGENURO MET 400W	36	400	14,400	4,910
GAS DE HG 160W	497	160	79,520	27,116
GAS DE HG 250W	92	250	23,000	7,843
GAS DE HG 500W	2	500	1,000	341
VAPOR DE NA 70W	17,608	85	1,496,680	510,368
VAPOR DE NA 100W	382	130	49,660	16,934
VAPOR DE NA 150W	3,309	170	562,530	191,823
VAPOR DE NA 250W	13,373	280	3,744,440	1,276,854
VAPOR DE NA 400W	4	436	1,744	595
REFLECTORES 150W	5	150	750	256
REFLECTORES 300W	34	300	10,200	3,478
REFLECTORES 500W	22	500	11,000	3,751
REFLECTORES 1000W	5	1,000	5,000	1,705
REFLECTORES 1500W	0	1,500	0	0
REFLECTORES 2000W	0	2,000	0	0
INCANDESCENTE 100W	11	100	1,100	375
FLUORESCENTES 80W	68	100	6,800	2,319
FLUORESCENTES 120W	2	150	300	102
FLUORESCENTES 20W	3	25	75	26
FLUORESCENTES 116W	12	145	1,740	593
CASSETAS TELEF 40W	0	50	0	0
ARTEFACTOS GAMLP			7,410,899	2,527,117
ALUMBRADO PÚBLICO CON MEDICION			855,177	291,391
SUB TOTAL	42,946		8,266,076	2,818,508

2 SEMÁFOROS GAMLP

	N° LUMINARIAS	POTENCIA (W)	POT. TOTAL (W)	ENERGIA (kWh)
SEMÁFOROS 100W(24HRS)	387	100	38,700	28,793
SEMÁFOROS 70W(24HRS)	47	70	3,290	2,448
SEMÁFORO LED (24HRS)	48	16	768	571
SEÑAL LED (24HRS)	15	10	150	112
CABEZAL PEATONAL 19W(24HRS)	229	11	2,519	1,874
SEMÁFORO T CALLE 9 W (24 HRS)	14	10	140	104
SEMÁFORO T AVENIDA 19W(24HRS)	131	15	1,965	1,462
SEMÁFORO T FLECHA 6W(24HRS)	14	8	112	83
GABINETE DE CONTROL 30W(24HRS)	22	20	440	327
CONTADOR DE TIEMPO 10W(24HRS)	106	10	1,060	789
SEÑAL VIAL PUNTO DE PARADA 120W	3	150	450	153
DECORATIVOS 20W	1	20	20	7
SUBTOTAL	1,017	440	49,614	36,723

3 ALUMBRADO PÚBLICO CON EQUIPO DE DELAPAZ

	N° LUMINARIAS	POTENCIA (W)	POT. TOTAL (W)	ENERGIA (kWh)
INCANDESCENTES 100W	33	100	3,300	1,125
GAS DE HG 160W	187	160	29,920	10,203
SUBTOTAL	220		33,220	11,328

	Bs./kWh	IMPORTE Bs.
CARGO POR ENERGIA GAMLP	2,855,231	2,247,066.80
CARGO POR ENERGIA DLP	11,328	8,915.10
TOTAL ENERGIA	2,866,559	2,255,981.90
IMPORTE TOTAL A FACTURAR Bs.		2,255,981.90

Fuente: Elaboración con base en la unidad de servicios eléctricos GAMLP.



FIGURA: B-2. Avenidas y Calles de Vías M1 y M2

VÍA M1	VÍA M2	VÍA M2	VÍA M2	VÍA M2	VÍA M2
14 de septiembre	14 de Septiembre Obrajés	Calle D	Hernán Siles Z	Mariscal SCZ	Tomas Murillo
15-Enrique Costas	15-Enrique Costas	Cardozo	Hernando Siles	Max Fernández	Uruguay
16 de Julio	15 de Abril	Castrillo	Ildelfonso de las Muñecas	Max Portugal	Venezuela
6 de Agosto	23 Av Garcia Lanza	Chacaltaya	Illampu	Maximiliano Paredes	Viaducto Ballivian
Aniceto Arce	23 de Marzo	Circunvalación	Imperial	Mejillones	Vicente Burgaleta
Arequipa	2do Bascones	Ciudad del Nido	Inofuentes	México	Zabaleta
Ballivian	31 de Octubre	Colombia	Ismael Montes	Moxos	
C. 21 de Calacoto	6 de Agosto	Costanera	Jaimes Freyre	Murillo	
C. 22 de Achumani	9 de Abril	Costanera Alto Obrajés	Javier del Granado	Naciones Unidas	
Chinchilla	Av. Gonzalez	Costanera Cruce	Jorge Mudo Reyes	Nieves Linares	
Colombia	Alcides Arguedas	Costanerita	Jose Maria Aguirre Acha	Nuñez del Prado	
Costanera norte	Alexander	De los Leones	Josefa Mugia	Octavio Campero	
Def del Chaco	Alfredo Otero	Del Ejercito	Juan Jose Torrez	Pasos Kanki	
Del Policia	Alfredo Ovando Candia	Del Libertador	Juan XIII	Periferica	
Enrique Obllitas P.	Aniceto Arce	Del Maestro	Julio Mendez	Peru	
Hernan Siles Z	Apumalla	Del Poeta	Julio Molina	Prolongación 20	



ALUMBRADO PÚBLICO LED

Hernando Siles	Arequipa	Del Policia	Julio Tellez	Quintanilla Zuazo	
Ismael Montes	Argentina	Delgadillo	Kollasuyo	Rafael Ballivian	
Juan Muñoz	Armando Escobar Uria	Diez de Medina	La Paz- Cotapata	Rafael Pavon	
Kantutani	Armentia	El Vergel	La Paz de Ayacucho	Ramos Gavilan	
Landaeta	Av. Victor Agustin Ugarte	Eliodoro Camacho	Landaeta	Raul Gamarra	
Mario Mercado	Baltazar de Salas	Enrique Oblitas	Las Américas	San Jose	
Mariscal Santa Cruz	Bautista Saavedra	Entre Rios	Litoral	Sanchez Lima	
Mexico	Brasil Buenos Aires	Esteban Arce	Los Sarmientos	Simon Bolivar	
Roma	C. 21 de Calacoto	Federico Zuazo	Manko Kapac	Sucre	
The Strongest	Calama	Florida	Marcelo Quiroga SZC	Tejada Sorzano	
Tomas Murillo	Caliri Periférica	Francisco Bedregal	Mariano Baptista	The Strongest	
Uruguay	Calle 1	German Busch	Mario Mercado	Tito Yupanqui	
Villazon	C. 22 de Achumani	Hector Ormachea	Mariscal de Montenegro	Tomas Monje G	

Fuente: Elaborado con base en la unidad de servicios eléctricos del GAMLP



ANEXO C

INGENIERÍA DEL PROYECTO



ANEXO C

FIGURA: C-1. Resultados software Ulysse Federico Zuazo

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición:
 Conducción:
 Sentido:

Número de:
 Ancho de carril: m
 Ancho de: m

Tabla R:
 Qo:

Cálculo: Luminancia
 Iluminancia (Z Positivo)
 Ilum. Semicilíndrica
 TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m
 Altura: m
 Retranqueo: m
 Retroceso: m

Inclinación: °

Descripción:
321951

Flujo: klm
 FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	
Obs Y	<input type="text" value="1.750"/>	<input type="text" value="5.250"/>	m
Lmed	<input type="text" value="2.58"/>	<input type="text" value="2.72"/>	cd/m ²
Uo	<input type="text" value="56.8"/>	<input type="text" value="59.3"/>	%
UI	<input type="text" value="95.2"/>	<input type="text" value="86.8"/>	%
TI	<input type="text" value="8.7"/>		%
Posición del	<input type="text" value="-20.625; 1.750; 1.500"/>		m

• Iluminancia

Emín	<input type="text" value="22.0"/>	lux
Emed	<input type="text" value="37.0"/>	lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-2. Resultados software Ulysse Av. 6 de Agosto

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición:
 Conducción:
 Sentido:

Número de Ancho de carril: m Ancho de m

Tabla R: Qo:

Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m

Inclinación: °

Descripción: 321951

Flujo: klm FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	3	
Obs Y	<input type="text" value="1.250"/>	<input type="text" value="3.750"/>	<input type="text" value="6.250"/>	m
Lmed:	<input type="text" value="2.30"/>	<input type="text" value="2.40"/>	<input type="text" value="2.48"/>	cd/m ²
Uo:	<input type="text" value="57.5"/>	<input type="text" value="57.6"/>	<input type="text" value="59.2"/>	%
UI:	<input type="text" value="93.6"/>	<input type="text" value="90.0"/>	<input type="text" value="89.5"/>	%
TI:	<input type="text" value="7.5"/> %			Posición del <input type="text" value="-23.375; 1.875; 1.500"/> m

• Iluminancia

Emín:	<input type="text" value="22.5"/> lux
Emed:	<input type="text" value="33.5"/> lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-3. Resultados software Ulysse Av. Mariscal Santa Cruz

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición: Conducción: Sentido:

Número de: Ancho de carril: m Ancho de: m

Tabla R: Qo:

Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m

Inclinación: °

Descripción: 321951

Flujo: klm FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	3	4	5	6	
Obs Y	<input type="text" value="1.750"/>	<input type="text" value="5.250"/>	<input type="text" value="8.750"/>	<input type="text" value="12.250"/>	<input type="text" value="15.750"/>	<input type="text" value="19.250"/>	m
Lmed	<input type="text" value="2.36"/>	<input type="text" value="2.39"/>	<input type="text" value="2.41"/>	<input type="text" value="2.41"/>	<input type="text" value="2.39"/>	<input type="text" value="2.36"/>	cd/m ²
Uo	<input type="text" value="61.0"/>	<input type="text" value="63.7"/>	<input type="text" value="68.8"/>	<input type="text" value="68.8"/>	<input type="text" value="63.7"/>	<input type="text" value="61.0"/>	%
UI	<input type="text" value="91.0"/>	<input type="text" value="89.2"/>	<input type="text" value="96.0"/>	<input type="text" value="96.0"/>	<input type="text" value="89.2"/>	<input type="text" value="91.0"/>	%
TI	<input type="text" value="5.8"/>						%
	Posición del					<input type="text" value="-28.875; 5.250; 1.500"/>	m

• Iluminancia

Emín	<input type="text" value="30.0"/>	lux
Emed	<input type="text" value="34.5"/>	lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-4. Resultados software Ulysse Av. Camacho

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición: Conducción: Sentido:

Número de: Ancho de carril: m Ancho de: m

Tabla R: Qo:

Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m

Inclinación: °

Descripción: 325161

Flujo: km FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	3	4	
Obs Y	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="4.500"/>	<input type="text" value="7.500"/>	<input type="text" value="10.500"/>	m
Lmed:	<input type="text" value="1.36"/>	<input type="text" value="1.37"/>	<input type="text" value="1.37"/>	<input type="text" value="1.36"/>	cd/m ²
Uo:	<input type="text" value="67.6"/>	<input type="text" value="75.1"/>	<input type="text" value="75.1"/>	<input type="text" value="67.6"/>	%
UI:	<input type="text" value="82.8"/>	<input type="text" value="84.6"/>	<input type="text" value="84.6"/>	<input type="text" value="82.8"/>	%
TI:	<input type="text" value="8.1"/>				%
	Posición del				<input type="text" value="-17.875; 3.000; 1.500"/> m

• Iluminancia

Emín: lux

Emed: lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-5. Resultados software Ulysse Av. Arce

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición: Conducción: Sentido:
 Número de: Ancho de carril: m Ancho de: m
 Tabla R: Qo:
 Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m
 Inclinación: °
 Descripción: 321951
 Flujo: km FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	3	4	
Obs Y	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="4.500"/>	<input type="text" value="7.500"/>	<input type="text" value="10.500"/>	m
Lmed:	<input type="text" value="2.16"/>	<input type="text" value="2.17"/>	<input type="text" value="2.17"/>	<input type="text" value="2.16"/>	cd/m ²
Uo:	<input type="text" value="64.2"/>	<input type="text" value="70.5"/>	<input type="text" value="70.5"/>	<input type="text" value="64.2"/>	%
UI:	<input type="text" value="92.1"/>	<input type="text" value="88.6"/>	<input type="text" value="88.6"/>	<input type="text" value="92.1"/>	%
TI:	<input type="text" value="7.3"/> %				
	Posición del				<input type="text" value="-28.875; 3.000; 1.500"/> m

• Iluminancia

Emín:	<input type="text" value="20.5"/> lux
Emed:	<input type="text" value="31.5"/> lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-6. Resultados software Ulysse Av. Roma

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición: Conducción: Sentido:
 Número de Ancho de carril: m Ancho de m
 Tabla R: Qo:
 Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m
 Inclinación: °
 Descripción: 321951
 Flujo: km FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	3	4	5	6
Obs Y	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="4.500"/>	<input type="text" value="7.500"/>	<input type="text" value="10.500"/>	<input type="text" value="13.500"/>	<input type="text" value="16.500"/> m
Lmed:	<input type="text" value="2.08"/>	<input type="text" value="2.10"/>	<input type="text" value="2.11"/>	<input type="text" value="2.11"/>	<input type="text" value="2.10"/>	<input type="text" value="2.08"/> cd/m ²
Uo:	<input type="text" value="59.6"/>	<input type="text" value="64.1"/>	<input type="text" value="70.2"/>	<input type="text" value="70.2"/>	<input type="text" value="64.1"/>	<input type="text" value="59.6"/> %
UI:	<input type="text" value="92.6"/>	<input type="text" value="89.8"/>	<input type="text" value="90.6"/>	<input type="text" value="90.6"/>	<input type="text" value="89.8"/>	<input type="text" value="92.6"/> %
TI:	<input type="text" value="6.9"/> %		Posición del <input type="text" value="-23.375; 4.500; 1.500"/> m			

• Iluminancia

Emín: lux
 Emed: lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-7. Resultados software Ulysse Av. Del Poeta

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición: Conducción: Sentido:
 Número de Ancho de carril: m Ancho de m
 Tabla R: Qo:
 Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m
 Inclinación: °
 Descripción: 321951
 Flujo: klm FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	3	4	
Obs Y	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="4.500"/>	<input type="text" value="7.500"/>	<input type="text" value="10.500"/>	m
Lmed	<input type="text" value="1.51"/>	<input type="text" value="1.52"/>	<input type="text" value="1.52"/>	<input type="text" value="1.52"/>	cd/m ²
Uo	<input type="text" value="33.5"/>	<input type="text" value="35.2"/>	<input type="text" value="36.5"/>	<input type="text" value="35.2"/>	%
UI	<input type="text" value="35.0"/>	<input type="text" value="62.2"/>	<input type="text" value="62.2"/>	<input type="text" value="35.0"/>	%
TI	<input type="text" value="8.9"/> %				
	Posición del <input type="text" value="8.875;3.000;1.500"/>				m

• Iluminancia

Emín	<input type="text" value="12.0"/> lux
Emed	<input type="text" value="22.1"/> lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-8. Resultados software Ulysse Av. Hernando Siles

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición :
 Conducción :
 Sentido :

Número de
 Ancho de carril : m
 Ancho de m

Tabla R :
 Qo :

Cálculo : Luminancia
 Iluminancia (Z Positivo)
 Ilum. Semicilíndrica
 TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia : m
 Altura : m
 Retranqueo : m
 Retroceso : m

Inclinación : °

Descripción : 325161

Flujo : klm
 FM :

Resumen

• Luminancia

	1	2	3	4	
Obs Y	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="4.500"/>	<input type="text" value="7.500"/>	<input type="text" value="10.500"/>	m
Lmed :	<input type="text" value="1.35"/>	<input type="text" value="1.36"/>	<input type="text" value="1.36"/>	<input type="text" value="1.36"/>	cd/m ²
Uo :	<input type="text" value="39.7"/>	<input type="text" value="43.9"/>	<input type="text" value="45.2"/>	<input type="text" value="42.1"/>	%
UI :	<input type="text" value="51.5"/>	<input type="text" value="74.3"/>	<input type="text" value="74.3"/>	<input type="text" value="51.5"/>	%
TI :	<input type="text" value="13.2"/>				%
	Posición del <input type="text" value="4.075; 3.000; 1.500"/>				m

• Iluminancia

Emin :	<input type="text" value="12.2"/>	lux
Emed :	<input type="text" value="20.3"/>	lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-9. Resultados software Ulysse Av. Montes

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición: Conducción: Sentido:
 Número de: Ancho de carril: m Ancho de: m Mediana: m
 Tabla R: Qo:
 Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m
 Inclinación: °
 Descripción: 321951
 Flujo: km FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2
Obs Y	<input type="text" value="1.600"/>	<input type="text" value="4.800"/> m
Lmed:	<input type="text" value="3.04"/>	<input type="text" value="2.87"/> cd/m ²
Uo:	<input type="text" value="65.3"/>	<input type="text" value="63.1"/> %
UI:	<input type="text" value="91.0"/>	<input type="text" value="89.6"/> %
TI:	<input type="text" value="4.5"/> %	
Posición del	<input type="text" value="31.125; 1.600; 1.500"/> m	

• Iluminancia

Emín:	<input type="text" value="30.2"/> lux
Emed:	<input type="text" value="41.2"/> lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



FIGURA: C-10. Resultados software Ulysse Av. Las Américas

Información general : Norma C.I.E. 140

Detalles de la carretera

Disposición: Conducción: Sentido:

 Número de Ancho de carril: m Ancho de m Mediana: m

 Tabla R: Qo:

 Cálculo: Luminancia Iluminancia (Z Positivo) Ilum. Semicilíndrica TI

Detalles de las luminarias

Interdistancia: m Altura: m Retranqueo: m Retroceso: m

 Inclinación: °

 Descripción: 321951

 Flujo: klm FM:

Resumen

• Luminancia

	1	2	
Obs Y	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="4.500"/>	m
Lmed:	<input type="text" value="2.29"/>	<input type="text" value="2.17"/>	cd/m ²
Uo:	<input type="text" value="67.2"/>	<input type="text" value="63.6"/>	%
UI:	<input type="text" value="84.9"/>	<input type="text" value="86.7"/>	%
TI:	<input type="text" value="5.5"/>		%
Posición del	<input type="text" value="10.125; 1.500; 1.500"/>		m

• Iluminancia

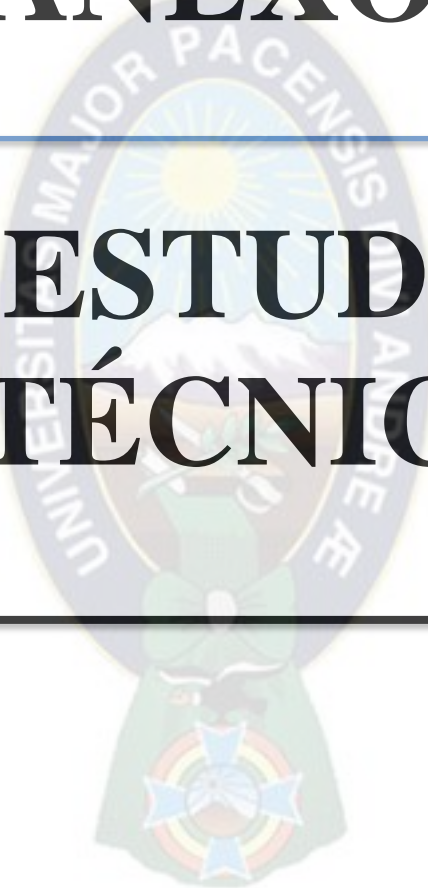
Emín:	<input type="text" value="17.9"/>	lux
Emed:	<input type="text" value="31.1"/>	lux

Fuente: Elaboración con base en el software Ulysse.



ANEXO D

ESTUDIO TÉCNICO





LensoFlex®2								Vida útil: Mantenimiento flujo luminoso tq 25°C ¹⁾
Número de LED	Blanco neutro (4250 K)	48 LED	96 LED	144 LED	192 LED	240 LED	288 LED	@100.000h
Corriente: 350 mA	Flujo nominal (lm)*	6800	13700	20500	27400	34300	41100	90%
	Consumo eléctrico (W)	58	104	152	208	257	311	
Corriente: 530 mA	Flujo nominal (lm)*	9600	19200	28800	38400	48000	-	
	Consumo eléctrico (W)	80	155	236	309	391	-	

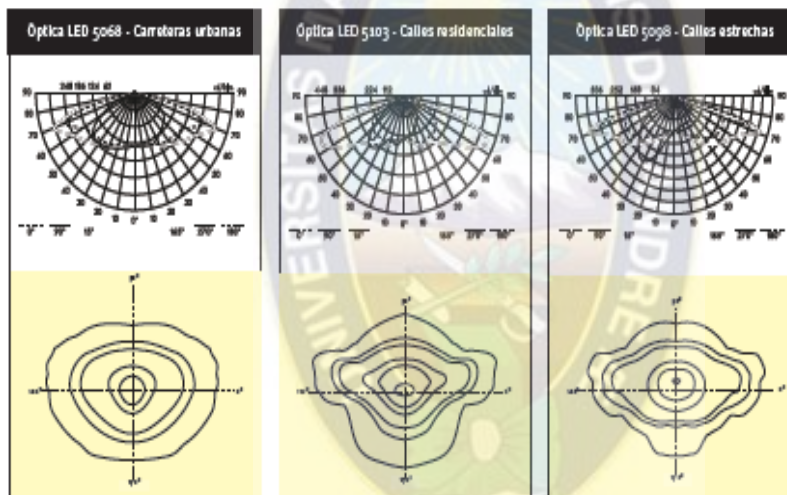
¹⁾ El flujo nominal es un flujo indicativo @ Tj 25°C basado en los datos proporcionados por el fabricante de LED. La salida de flujo real de la luminaria depende de las condiciones ambientales (p.ej temperatura y contaminación) y de la eficacia óptica de la luminaria.

El flujo nominal depende del tipo de LED utilizado y puede cambiar de acuerdo con los rápidos y continuos avances en la tecnología LED.

Para seguir el progreso de la eficacia luminosa de los LED utilizados, visite por favor nuestra Web.

²⁾ Según IES LM-80 - TM-21.

DISTRIBUCIONES FOTOMÉTRICAS CASOS DE ESTUDIO



Fuente: Elaborado con base en el catálogo de luminaria SCHREDER Modelo AKILA.



FIGURA: D-2. Catalogo BRIKA, SCHREDER.



BRIKA



CARACTERÍSTICAS - LUMINARIA

Hermeticidad bloque óptico:	IP 66 ^m
Resistencia a los impactos:	IK 08 ^m
Tensión nominal:	230 V - 50 Hz
Clase eléctrica:	I & II ^m
Peso:	de 2,8 a 4,7 kg
Materiales:	
Cuerpo:	Perfiles de aluminio extruido y material sintético anti-UV en las guarderas laterales
Protector:	Vidrio
Color:	Aluminio anodizado o cualquier color RAL a petición

^m según IEC - EN 60598
^m según IEC - EN 60529

VENTAJAS CLAVE

- Varios tamaños y paquetes lumínicos, desde 2.600 a 4.900 lm
- Una ventajosa alternativa LED a las lámparas de fluorescentes de 36 W y las lámparas de sodio de alta presión de 70 W
- Diseñada para una amplia gama de temperaturas ambiente: Ta -15°C a 50°C
- Excelente conductividad térmica
- Incorpora los acreditados motores fotométricos LensoFlex^{®2}
- Ahorro de hasta el 65% de energía en comparación con las fuentes tradicionales
- Protección contra sobretensiones 10 kV

PEQUEÑA, EFICIENTE Y FLEXIBLE

La gama Brika ofrece varios tamaños y niveles de flujo (en pasos de 8 LED) gracias a su diseño en extrusión. La luminaria Brika, con sus 8 LED, resulta ideal para iluminar carreteras secundarias, aparcamientos y campus.

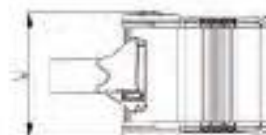
Con 24 LED ha demostrado ser una ventajosa alternativa a las lámparas de sodio de alta presión de 70 W para la iluminación de zonas residenciales y otras carreteras urbanas.

La gama Brika ha sido creada con el objetivo de proporcionar una luminaria LED eficaz con unos costes mínimos para la propiedad. Además de ser una luminaria LED económica, su extensiva fotometría garantiza también el máximo ahorro energético.

OPCIONES

- Luz blanca cálida de 3000 K

DIMENSIONES



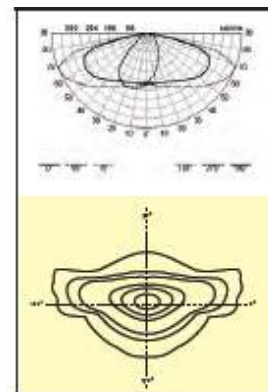
	8 LED	16 LED	24 LED
W	216 mm	301 mm	386 mm
H	103 mm	103 mm	103 mm
L	378 mm	378 mm	378 mm

ALUMBRADO PÚBLICO LED



Brika LensoFlex*2				Mantenimiento flujo luminoso $\tau_{35^{\circ}\text{C}}$	
Número de LED	Bianco neutro (4.000K)	8 LED	16 LED	24 LED	@50.000h
Corriente: 700 mA	Flujo nominal (lm)*	2600	-	-	70%
	Consumo energético (W)	19	-	-	
Corriente: 500 mA	Flujo nominal (lm)*	-	3100	-	
	Consumo energético (W)	-	27	-	
Corriente: 530 mA	Flujo nominal (lm)*	-	-	4900	
	Consumo energético (W)	-	-	42	

* El flujo nominal es un flujo indicativo @ Tj 25°C basado en los datos proporcionados por el fabricante de LED. La salida de flujo real de la luminaria depende de las condiciones ambientales (p.ej temperatura y contaminación) y de la eficacia óptica de la luminaria. El flujo nominal depende del tipo de LED utilizado y puede cambiar de acuerdo con los rápidos y continuos avances en la tecnología LED. Para seguir el progreso de la eficacia luminosa de los LED utilizados, visita por favor nuestra Web.



Fuente: Elaborado con base en el catálogo de luminaria SCHREDER Modelo

BRIKA.



ANEXO E

ESTUDIO ECONÓMICO

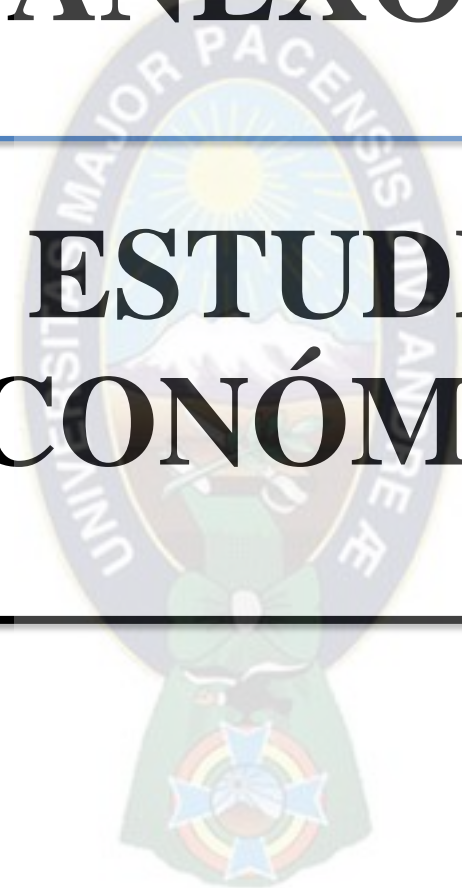




TABLA: E-1. Flujo de fondos situación sin proyecto.

Año	Costo de operación	Costo de mantenimiento	Inversión	Flujo de caja	Flujo de fondos actualizado
0			41.240.218	41.240.218	41.240.218
1	27.746.114	3.469.795		31.215.909	27.705.608
2	27.746.114	3.469.795		31.215.909	24.590.049
3	27.746.114	3.469.795		31.215.909	21.824.842
4	27.746.114	16.300.522		44.046.635	27.332.513
5	27.746.114	3.469.795		31.215.909	17.192.321
6	27.746.114	3.469.795		31.215.909	15.259.005
7	27.746.114	3.469.795		31.215.909	13.543.095
8	27.746.114	27.610.616		55.356.730	21.315.919
9	27.746.114	3.469.795		31.215.909	10.668.450
10	27.746.114	76.459.903		104.206.016	31.608.934
11	27.746.114	3.469.795		31.215.909	8.403.975
12	27.746.114	16.300.522		44.046.635	10.524.784
13	27.746.114	3.469.795		31.215.909	6.620.155
14	27.746.114	3.469.795		31.215.909	5.875.703
15	27.746.114	3.469.795		31.215.909	5.214.967
16	27.746.114	27.610.616		55.356.730	8.208.007
17	27.746.114	3.469.795		31.215.909	4.108.043
18	27.746.114	3.469.795		31.215.909	3.646.084
19	27.746.114	3.469.795		31.215.909	3.236.074
20	27.746.114	16.300.522		44.046.635	4.052.722

Tasa Social	0,1267
VAC	312.171.468,60
CAE	-43.560.079,53

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAML P y catalogo SCHREDER.



TABLA: E-2. Flujo de fondos situación con proyecto.

Año	Costo de operación	Costo de mantenimiento	Inversión	Flujo de caja	Flujo de fondos actualizado
0			153.918.942	153.918.942	153.918.942
1	14.514.203	0		14.514.203	12.882.047
2	14.514.203	0		14.514.203	11.433.432
3	14.514.203	3.460.791		17.974.994	12.567.355
4	14.514.203	0		14.514.203	9.006.582
5	14.514.203	0		14.514.203	7.993.771
6	14.514.203	3.460.791		17.974.994	8.786.562
7	14.514.203	0		14.514.203	6.297.021
8	14.514.203	0		14.514.203	5.588.906
9	14.514.203	3.460.791		17.974.994	6.143.192
10	14.514.203	7.945.505		22.459.707	6.812.730
11	14.514.203	0		14.514.203	3.907.527
12	14.514.203	3.460.791		17.974.994	4.295.060
13	14.514.203	0		14.514.203	3.078.119
14	14.514.203	0		14.514.203	2.731.977
15	14.514.203	3.460.791		17.974.994	3.002.924
16	14.514.203	0		14.514.203	2.152.090
17	14.514.203	0		14.514.203	1.910.083
18	14.514.203	3.460.791		17.974.994	2.099.517
19	14.514.203	0		14.514.203	1.504.650
20	14.514.203	0		14.514.203	1.335.449

Tasa Social	0,1267
VAC	267.447.936,49
CAE	-37.319.404,73

Fuente: Elaborado con base en datos proporcionados por la unidad de servicios eléctricos del GAML P y catalogo SCHREDER.

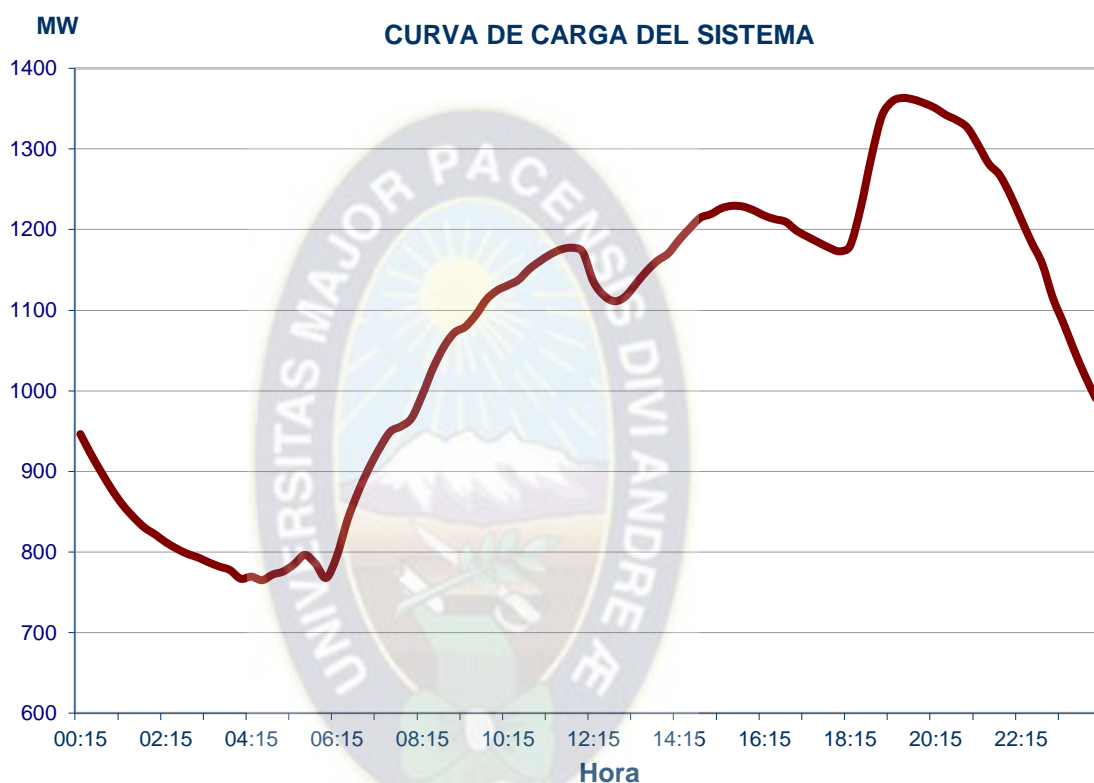


ANEXO F

BENEFICIO AMBIENTAL



ANEXO F-1. Curva de carga de consumo de energía en la ciudad de La Paz del día de la demanda máxima, 22 de octubre de 2015.



Fuente: Elaborado con base en información del comité nacional de despacho de carga, octubre 2015.