

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título
de Ingeniera Eléctrica*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA
VIABILIDAD DE REMPLAZAR TODAS LAS LUMINARIAS DE SODIO
UTILIZADAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL
EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA POR
LUMINARIAS DE TECNOLOGÍA LED (LIGHT EMITTING DIODE)”**

AUTORA:

JOHANNA PAOLA NARVÁEZ MUÑOZ

TUTOR:

ING. PABLO DANIEL ROBLES LOVATO, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Johanna Paola Narvárez Muñoz con documento de identificación N° 0105949283, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE REMPLAZAR TODAS LAS LUMINARIAS DE SODIO UTILIZADAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA POR LUMINARIAS DE TECNOLOGÍA LED (LIGHT EMITTING DIODE)”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Eléctrica*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2020



Johanna Paola Narvárez Muñoz

C.I. 0105949283

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE REPLAZAR TODAS LAS LUMINARIAS DE SODIO UTILIZADAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA POR LUMINARIAS DE TECNOLOGÍA LED (LIGHT EMITTING DIODE)”**, realizado por Johanna Paola Narváez Muñoz, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2020

PABLO
DANIEL
ROBLES
LOVATO



Nombre de reconocimiento (CRO):
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION,
cn=BCI, l=QUITO,
serialNumber=000020754,
cn=PABLO DANIEL ROBLES LOVATO
Motivo: He revisado este documento
Fecha: 2020.07.17 09:00:07 -05'00'

Ing. Pablo Daniel Robles Lovato, MsC.

C.I. 0101663342

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Johanna Paola Narváez Muñoz con documento de identificación N° 0105949283, autora del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE REMPLAZAR TODAS LAS LUMINARIAS DE SODIO UTILIZADAS EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA POR LUMINARIAS DE TECNOLOGÍA LED (LIGHT EMITTING DIODE)”**, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, marzo del 2020



Johanna Paola Narváez Muñoz

C.I. 0105949283

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecerle a Dios, por haberme regalado a los mejores padres del mundo, Luis y Juana quienes han sido el eje fundamental en el transcurso de mi vida universitaria.

Agradecerle a Xavier, mi hermano por su apoyo cercano.

Al ingeniero Santiago Pulla mi tutor, por la oportunidad, la paciencia y la enseñanza en el transcurso de mi tesis.

Al ingeniero Pablo Robles mi tutor, por la dedicación, enseñanza y espera.

Y cada uno de mis amigos, familiares y compañeros quienes me han brindado su apoyo incondicional en los momentos más difíciles del transcurso de mi vida, estudio y desarrollo de esta tesis.

Gracias totales.

Johanna Paola Narvárez Muñoz.

DEDICATORIA

A ti, Johanna Paola Narváez Muñoz.

Por no darte por vencida.

Johanna Paola Narváez Muñoz.

RESUMEN

El presente estudio analiza cuan viable es el cambio de luminarias de sodio por luminarias LED, dentro del alumbrado público general que conforma la zona urbana de la ciudad de Cuenca, con el objetivo de que los parámetros técnicos de las luminarias LED cumplan o a su vez superen los parámetros de luminosidad que las de sodio instaladas actualmente. También se realiza el análisis técnico económico, basados en un plan de mantenimiento preventivo y consumo de energía a lo largo de la vida útil de las luminarias.

ABSTRACT

The present study analyses the viability of changing sodium luminaires for LED luminaires, within the general public lighting that makes up the urban area of the city of Cuenca, with the aim of ensuring that the technical parameters of the LED luminaires comply with the same lighting parameters as the sodium ones, or in turn exceed their level referred. The technical-economic analysis is also carried out, based on a preventive maintenance plan and energy consumption throughout the life of the luminaires.

PALABRAS CLAVES TEMATICAS

Sodio

Light Emiting Diode (LED)

Técnico

Económico

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO.....	1
1.1 Sistemas de alumbrado público con iluminación LED a nivel mundial.	1
1.2 Último registro del sistema de alumbrado público en Ecuador.	2
1.3 Sistemas de alumbrado público en el área urbana de la ciudad de Cuenca.....	3
1.4 Alumbrado público.	3
1.4.1 Alumbrado Público General.....	4
1.4.2 Alumbrado Público Ornamental.	4
1.4.3 Alumbrado Público Intervenido.	4
1.4.4 Alumbrado Urbano.....	4
1.5 RTE INEN 069.....	4
1.6 Aspectos técnicos del sistema de alumbrado público.....	5
1.6.1 Parámetros fotométricos.....	5
1.6.2 Disposición de los puntos de iluminación.....	7
1.6.3 Luminarias.....	13
1.6.4 Factor de Mantenimiento.	18
1.7 Aspectos financieros para calcular rentabilidad de un proyecto.....	19
1.7.1 VAN.	19
1.7.2 TIR.	19
1.7.3 Tasa de crecimiento.....	19
1.7.4 Relación Beneficio Costo.....	20
CAPÍTULO 2.....	21
ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO.....	21
2.1 Estado actual del Alumbrado Público en la Ciudad de Cuenca.....	21

2.2 Tipo de luminarias utilizadas en Alumbrado Público General.	22
2.2.1 Luminarias de sodio de alta presión.	22
2.2.2 Luminarias LED.	22
2.3 Disposición del alumbrado público.	23
2.3.1 Distribución unilateral.	23
2.3.2 Distribución bilateral.	23
2.3.3 Distribución central.	24
3.2.3 Distribución tresbolillo.	24
CAPÍTULO 3.	26
EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS LUMINARIAS DE SODIO VS LED DENTRO EL ALUMBRADO PÚBLICO.	26
3.1 Determinación de los tipos de vías en el Cantón Cuenca.	27
3.2 Determinación de las condiciones de montaje.	27
3.3 Descripción de las simulaciones.	28
3.3.1 Simulaciones con las luminarias de sodio.	28
3.3.2 Simulaciones con las luminarias de led.	29
CAPÍTULO 4.	37
EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL REEMPLAZO DE LAS LUMINARIAS DE NA POR LAS LUMINARIAS LED.	37
4.1 Determinación de parámetros de cálculo.	39
4.1.1 Plan de mantenimiento para las luminarias.	39
4.1.2 Costo de los materiales.	41
4.1.3 Costo de la mano de obra.	42
4.1.4 Costos generales.	42
4.1.5 Tiempos promedio de mantenimiento por luminaria.	43
4.1.6 Tasa de crecimiento.	44
4.2 Metodología de cálculo.	45
4.2.1 Costo de mantenimiento preventivo de las luminarias.	45
4.1.2 Costo de energía consumida por las luminarias de vapor de sodio y LED.	53
4.2.2 Costo anual de las luminarias LED frente a las luminarias de vapor de sodio.	54
4.2.3 Rentabilidad de la sustitución de luminarias de sodio por LED.	55
CAPÍTULO 5.	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	64

5.1 Conclusiones.	64
5.2 Recomendaciones.	66
REFERENCIAS.	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Características de las vías según INEN 069 [11].	5
Tabla 1. 2. Parámetros fotométricos para vías [11].	6
Tabla 1. 3 Configuración para la disposición de luminarias [11].	8
Tabla 2. 1 Cantidad de luminarias de sodio de alta presión SNP y DNP[8].	22
Tabla 2. 2 Cantidad de luminarias LED [8].	22
Tabla 2. 3 Distribución unilateral [8].	23
Tabla 2. 4 Distribución bilateral [8].	23
Tabla 2. 5 Distribución central [8].	24
Tabla 2. 6 Distribución tresbolillo [8].	25
Tabla 3. 1. Resumen de las simulaciones con luminarias de sodio y LED para reemplazo de luminaria de 250 W.	31
Tabla 3. 2 Resumen de las simulaciones con luminarias de sodio y LED para la segunda vía. ...	33
Tabla 3. 3 Resumen de las simulaciones con luminarias de sodio y LED para la tercera vía.	35
Tabla 4.1 Programación de mantenimiento de luminarias de Na.	39
Tabla 4. 2 Programación de mantenimiento en luminarias LED.	40
Tabla 4. 3 Precio inicial de las luminarias	41
Tabla 4. 4 Precio de los elementos a sustituir en las luminarias de Na.	41
Tabla 4. 5 Precio de los elementos a sustituir en las luminarias LED.	42
Tabla 4. 6 Costo por hora de la mano de obra.	42
Tabla 4. 7 Costos generales de las luminarias	43
Tabla 4. 8 Tiempos establecidos para el cambio de elementos en las luminarias de Na.	43
Tabla 4. 9 Tiempos establecidos para el cambio de elementos en luminarias LED.	44
Tabla 4. 10 Tasa de crecimiento de la mano de obra.	44
Tabla 4. 11 Tasa de crecimiento de materiales de construcción.	45
Tabla 4. 12 Resultado de la proyección de los elementos de las luminarias de sodio a 15 años. ...	46
Tabla 4. 13 Resultados de la proyección de los elementos de las luminarias LED en 20 años.	47
Tabla 4. 14 Costo de mano de obra en luminarias de sodio según el tiempo empleado en las sustitución de materiales.	48
Tabla 4. 15 Costo de mano de obra en luminarias LED según el tiempo empleado en cambio de materiales.	48
Tabla 4. 16 Costo de mano de obra prolongada a 15 años.	48
Tabla 4. 17 Costo de mano en luminarias LED prologada para 20 años.	49
Tabla 4. 18 Costo de mantenimiento en luminarias de sodio de SNP y DNP.	50
Tabla 4. 19 Costo de mantenimiento en luminarias LED de SNP Y DNP.	51
Tabla 4. 20 Costo de inversión inicial de sodio en 15 años.	51
Tabla 4. 21 Costo de la luminaria LED en 20 años.	52
Tabla 4. 22 Costo de la luminaria LED en 15 años.	52

Tabla 4. 23 Costo de la energía consumida por luminaria de Na 100 W y luminaria LED de 48 W de SNP.....	53
Tabla 4. 24 Costo de la energía consumida por luminaria de Na de 150W y luminaria LED de 94W de DNP.	53
Tabla 4. 25 Costo de la energía consumida por luminaria de Na de 250W y luminaria LED de 178W DNP.	54
Tabla 4. 26 Síntesis económico para el reemplazo de luminarias de sodio por luminarias LED.	54
Tabla 4. 27 Evaluación financiera del proyecto luminarias Na 250W y luminarias LED 178W DNP.....	55
Tabla 4. 28 Tabla comparativa de inversión entre luminarias Na de 250 W y LED de 178 W...	56
Tabla 4. 29 Sensibilidad financiera del cambio de luminaria de 178 W LED.	57
Tabla 4. 30 Evaluación financiera del proyecto luminarias Na 150W y luminarias LED 94 W DNP.....	57
Tabla 4. 31 Tabla comparativa de inversión entre luminarias Na de 150 W y LED de 94 W.	58
Tabla 4. 32 Sensibilidad financiera del cambio de luminaria de 94 W LED.....	59
Tabla 4. 33 Evaluación financiera del proyecto luminarias Na 100W y luminarias LED 42 W DNP.....	60
Tabla 4. 34 Tabla comparativa de inversión entre luminarias Na de 100 W y LED de 42 W.	61
Tabla 4. 35 Sensibilidad financiera del cambio de luminaria de 42 W LED.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. 1 Cantidad de luminarias distribuidas en el Ecuador.	2
Figura 1. 2 Disposición unilateral.	8
Figura 1. 3 Disposición bilateral opuesta.	9
Figura 1. 4 Disposición central con separador menor a 1,5 m.	9
Figura 1. 5 Disposición Central – Lateral (3 luminarias).....	10
Figura 1. 6 Disposición central – bilateral (4 luminarias).	10
Figura 1. 7 Disposición tresbolillo.	11
Figura 1. 8 Disposición Tresbolillo (4 luminarias).	11
Figura 1. 9 Disposición en curvas.....	12
Figura 1. 10 Lámpara de vapor de sodio de alta presión.	15
Figura 1. 11 Lámpara de vapor de mercurio de alta presión con halogenuros metálicos.	16
Figura 1. 12 Lámpara de descarga por inducción electromagnética.	16
Figura 1. 13 Lámpara tipo LED.....	18
Figura 2. 1 Paisaje nocturno de la ciudad de Cuenca.	21

INTRODUCCIÓN.

El alumbrado público forma parte importante dentro de un SEP (Sistema Eléctrico de Potencia), contituyendose uno de los referentes importantes dentro del consumo de energía a nivel nacional en la ultima década, debido a que su función es brindar iluminación de calidad, para el correcto desenvolvimiento de la sociedad.

Desde la implementación de los servicios de alumbrado público en la ciudad de Cuenca, la Empresa Regional Centro Sur C.A viene siguiendo la creciente evolución tecnológica en fuentes de alumbrado. Con la aparición de la tecnología LED, surgen incertidumbres acerca de la rentabilidad del cambio de esta nueva luminaria por la tradicional, a base de vapor de sodio, respetando los estándares de calidad y uniformidad lumínica que se encuentran en la actualidad.

El presente análisis se realiza con casos de vías que se encuentran en la zona urbana de la Ciudad de Cuenca, siendo una de las ciudades más importantes del Ecuador. La empresa distribuidora encargada de la concesión del sistema de alumbrado público en la Ciudad de Cuenca, es la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., a través de su Departamento de Supervisión y Operación y el Departamento de Alumbrado Público, quienes se encargan de realizar las diferentes actividades para el correcto funcionamiento del mismo.

La Regulación del CONELEC 006/2018, dispone de los lineamientos necesarios que deben cumplir las empresas distribuidoras, por lo tanto, permite establecer parámetros para el funcionamiento del sistema de alumbrado público.

La eficiencia energética dentro de la iluminación LED, llega a tener un ahorro del 50 a 80 % de energía. Es por ello que dentro del alumbrado público es ideal un cambio de luminarias convencionales con bombillas de sodio por iluminación de estado sólido (LED). Por ello la empresa Regional Eléctrica Regional Centro Sur C. A busca lograr la eficiencia energética, no solo con la existencia de un plan de ahorro de energía, sino contar con un adecuado sistema de iluminación que garantice el desarrollo de los usuarios y de la ciudad, formando parte del cambio en ahorro energético a nivel local y mundial.

GLOSARIO

Na: Sodio

LED: Light Emitting Diode.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

RETILAP: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público .

RTE INEN 069: Reglamento Técnico Ecuatoriano 069.

MEER: Ministerio de Electricidad y Energías Renovables

CONELEC: Consejo nacional de electricidad.

EERCS: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

DNP: Doble nivel de potencia

SNP: Simple nivel de potencia

Qo: Coeficiente de reflectividad en la calzada

Lm: Luminancia promedio de la calzada

Uo: Uniformidad general de la luminancia de la calzada

UL: Uniformidad longitudinal de la calzada

TI: Deslumbramiento

cd: Candelas

lm: Lúmenes

lm/W: Lúmenes por vatios

VAN: Valor Actual Neto.

TIR : Tasa interna retornable.

RBC: Razón Beneficio Costo.

A.P : Alumbrado Público

*“No hay emoción más intensa para un inventor que ver
una de sus creaciones funcionando.”*

Nikola Tesla.

CAPÍTULO 1.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO.

1.1 Sistemas de alumbrado público con iluminación LED a nivel mundial.

En los últimos años el desarrollo de nuevas tendencias en iluminación han tenido un gran impacto dentro de ciudades con un gran desarrollo tecnológico como: China, Estados Unidos, Alemania, Finlandia, Francia, Japón, entre otros. Mostrando una tendencia positiva hacia el uso de estas nuevas tecnologías[1].

En Estados Unidos de Norte America existe LED City™, una gran comunidad gubernamental e industrial que se encarga de promover la tecnología de iluminación LED en las municipalidades del país, probando así que la tecnología LED es 4 veces más eficiente que las luminarias de vapor de sodio usadas para la iluminación[1].

Corea del Sur también es parte del programa internacional LED City™, con disminución en su consumo de energía del 30% comparado con las lámparas fluorescentes que fueron reemplazadas. Este cambio le ahorra a la ciudad más de 234.000 Kw/h y reduce las emisiones de dióxido de carbono en 8.465 Kg anualmente[2].

Son más los países y ciudades asiáticos que se han unido a los cambios de iluminación. como; Taiwán, Hong Kong, Macao, Japón, Mongolia, Filipinas, Tailandia, Malasia, Indonesia, Brunei, Darussalam, Singapur, Vietnam, Cambodia, Laos y Burma, Eslovenia, mientras que en latinoamerica países como Mexico, Colombia y Chile [3].

En la ciudad de Badajoz - España el sistema de alumbrado público es de tipo LED, el cuál permite a la ciudad un ahorro superior a 1,2 millones de euros anualmente, además cuentan con un sistema que regula la intensidad de iluminación de la ciudad por zonas, o en función de las estaciones del año, como también en ceremonias protocolarias[3].

En Bucaramanga - Colombia actualmente se ha logrado ahorros por consumo de energía de 1.061.417 Kw/h anualmente, equivalente al 30% de la carga que se tenía instalada en sodio, representando el 4% del total de la energía de todo el sistema de alumbrado público de la ciudad[4].

1.2 Último registro del sistema de alumbrado público en Ecuador.

En Ecuador hasta el año 2017 existen más de 1.104.072 luminarias, distribuidas principalmente por luminarias de Sodio de alta presión, mercurio y LED. Considerando que la demanda pico estimada del país es 3,720 MW, la demanda del Alumbrado Público representaría alrededor de un 6%, razón por la cual es importante optimizar la prestación y control de este servicio público.[5] En la Figura 1.1 se observa el índice de luminarias que se encuentran instaladas, donde muestra, que en luminarias de sodio se tiene un 86%, en luminarias de mercurio 10%, mientras que la luminaria LED presenta un índice muy bajo[6].

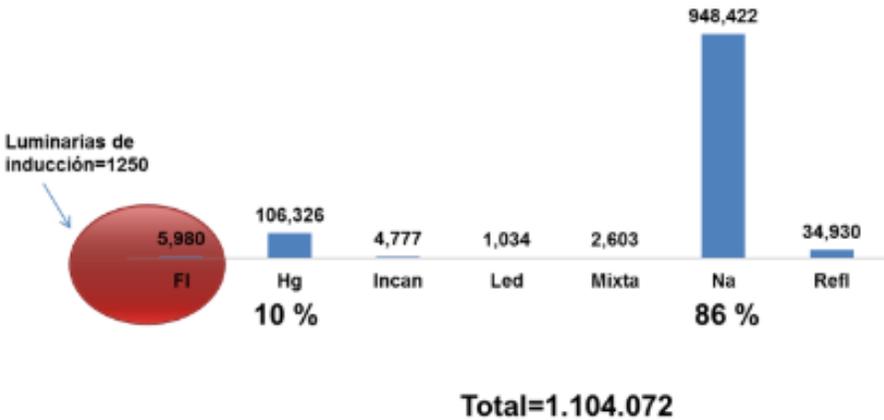


Figura 1. 1 Cantidad de luminarias distribuidas en el Ecuador.

Fuente : [6].

1.3 Sistemas de alumbrado público en el área urbana de la ciudad de Cuenca.

“El sistema de alumbrado público brinda servicio a espacios públicos como: vías, plazas, parques, glorietas, espacios deportivos, como también sirve para la iluminación ornamental de edificios, templos, monumentos, etc.”[7]

“Los sistemas de alumbrado público vial generalmente han sido constituidos utilizando la infraestructura de las redes de distribución eléctrica, no así los sistemas de iluminación para uso ornamental o para parques, plazas y áreas deportivas generalmente cuentan con sistemas expresos de alumbrado público”. Existen pocos sistemas de iluminación vial con sistemas expresos, entre los que se puede citar: el sistema del Centro Histórico, la autopista Cuenca - Azogues, La Av. De las Américas, la vía Medio Ejido - San Joaquín, Sayausí [7].

Los registros que consta en el SIGADE para el mes de Noviembre del 2019, la CENTROSUR cuenta con 71434 luminarias distribuidas por zonas dentro de la ciudad, mostrando que el índice de luminaria LED es apenas de un 6,04%[8].

Para el alumbrado vial se utiliza principalmente luminarias de vapor de sodio de alta presión de 100 watt ,150 watt o 250 watt de simple y doble nivel de potencia, y en menor cantidad luminarias de mercurio. Los sistemas de control para el alumbrado vial son principalmente mediante hilo piloto. También se utilizan luminarias o controladas con fotocontroles. El control del alumbrado ornamental se realiza através de un reloj con omisión de días para programar el encendido y apagado de los sistemas de alumbrado, que mediante relés accionan el encendido y apagado de estos sistemas[9].

1.4 Alumbrado público.

“Constituye la iluminación de vías y espacios públicos destinados a la movilidad y ornamentación. El alumbrado público se clasifica en: alumbrado público general, alumbrado público ornamental y alumbrado público intervenido”[10].

1.4.1 Alumbrado Público General.

“Es la iluminación de vías públicas, para tránsito de personas y/o vehículos. Excluye la iluminación de las zonas comunes de unidades inmobiliarias declaradas como propiedad horizontal, la iluminación pública ornamental e intervenida”[10].

1.4.2 Alumbrado Público Ornamental.

“Es la iluminación de zonas como parques, plazas, iglesias, monumentos y similares, que difiere de los niveles establecidos por regulación para alumbrado público general, dado que éstos obedecen a criterios estéticos determinados por el gobierno autónomo descentralizado”[10].

1.4.3 Alumbrado Público Intervenido.

“Es la iluminación de vías que, debido a planes o requerimientos específicos de los gobiernos autónomos descentralizados, difieren de los niveles de iluminación establecidos por la regulación”[10].

1.4.4 Alumbrado Urbano.

“El alumbrado urbano presta un servicio de gran importancia para la sociedad, debido que permite la movilidad de las personas y vehículos en una ciudad, aportando seguridad a los ciudadanos, se debe normar los aspectos técnicos, económicos y financieros para la prestación del servicio a fin de garantizar la calidad del mismo”[11].

1.5 RTE INEN 069.

Uno de los reglamentos que son esenciales para este tipo de instalaciones es el uso del Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO” especificando las diferentes clases de iluminación, dependiendo de las características de las vías. Se busca prolongar la vida útil del sistema de alumbrado público, como se busca nuevas alternativas tecnológicas que aporten eficiencia energética, garantizando su correcto funcionamiento[11].

En la Tabla 1.1 se observa las características de las vías y los parámetros lumínicos que requieren dentro del alumbrado público según el reglamento para su aplicación.

Tabla 1. 1 Características de las vías según INEN 069 [11].

Clases de Iluminación	Descripción de vía	Velocidad de circulación	Tránsito de vehículos T(Veh/h)		
M1	Autopista y carreteras	Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M3	Vías principales y ejes viales	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

1.6 Aspectos técnicos del sistema de alumbrado público.

El sistema de alumbrado público deberá considerar parámetros y niveles para vías vehiculares y peatonales[11].

1.6.1 Parámetros fotométricos.

1.6.1.1 Luminancia promedio de la calzada (L_{av}).

“La luminancia promedio se calcula como el promedio aritmético de las luminancias obtenidas en cada uno de los puntos de cálculo. Este es el valor mínimo que debe ser mantenido a lo largo de la vida útil de la instalación”[12].

1.6.1.2 Uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o).

“Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía. Su valor depende de los mismos factores que inciden en la luminancia promedio, analiza el rendimiento visual de la iluminación, puesto que este criterio es importante, ya controla la visibilidad mínima de la vía”[12].

1.6.1.3 Coeficiente de uniformidad longitudinal (U_l).

“Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas sobre uno o varios ejes paralelos al eje principal de la vía, analizando la comodidad visual de la iluminación en la vía. La tabla 1.2 detalla los niveles que deben cumplir determinadas vías”[12].

Tabla 1. 2. Parámetros fotométricos para vías [11].

Clases de iluminación	Tipo de Superficie				Incremento de Umbral Ti (%)	Relación de alrededor SR
	Seco		Mojado			
	$L_{av}(\frac{cd}{m^2})$	U_o	U_f	U_o		
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,0	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5

1.6.1.4 Deslumbramiento.

“Se considera que el deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestia y disminución en la capacidad para ver y distinguir objetos debido a la incorrecta distribución de la luminancia, o como efecto a lo del excesivo contraste” [12].

$$TI = \frac{k \cdot E_e}{L_v \alpha \cdot \theta^2} (\%) \quad (2.1)$$

En donde:

k: es un factor que varía con la edad del observador, su valor es de 650^3

E_e : Es la iluminancia total inicial producida por las luminarias, en su estado nuevo, sobre el plano normal a la línea de visión y a la altura del ojo del observador.

L_{va} : Es la luminancia inicial promedio.

θ : Es el ángulo en grados formado entre la línea de visión y el centro de cada luminaria[12].

1.6.2 Disposición de los puntos de iluminación.

“En una vía la localización de las luminarias se relaciona con el ancho de la vía, los requisitos lumínicos de la vía, la altura de montaje, el perfil de la vía, la proximidad a las redes de alta y medio voltaje y el fácil acceso para el mantenimiento”[13].

“La interdistancia de localización de los postes de alumbrado, está dada por los estudios fotométricos de iluminación de la vía, esta distancia únicamente puede disminuirse ante la presencia de obstáculos inevitables, sumideros de alcantarillas, rampas de acceso a garajes existentes, interferencia con redes de servicio público existentes”[13].

Se puede optar por una interdistancia de mayor longitud mediante el análisis secuencial de las siguientes alternativas[13].

- a. Escoger la luminaria más apropiada.
- b. Calibrar el reglaje de la luminaria para aumentar su dispersión.
- c. Incrementar la inclinación de la luminaria (de 0° a 20°).
- d. Usar brazos de mayor longitud y por ende mayor alcance.
- e. Aumentar la longitud del brazo para que el avance de la luminaria sobre la calzada sea mayor.

“Una vez que se conoce las características de la vía y las propiedades fotométricas de las luminarias, se procede a elegir la configuración que mejor se adapte a las necesidades de las vías a iluminar”[11]. La Tabla 1.3 muestra ciertas recomendaciones que se podrían tomar a la hora de escoger un tipo de configuración.

Tabla 1. 3 Configuración para la disposición de luminarias [11].

Clases de Iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M1	12-14	3,5-4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M2	10-12	3,5-4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M3	8,5-10	3,5-4	Ancho de la calzada menor	Unilateral
M4	7-9	3,5-4	Unilateral	
M5	6	3,5-4	Al criterio del diseñador	

Existen diferentes disposiciones para la iluminación de las vías para el servicio de alumbrado público, el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO” detalla las disposiciones[12]:

1.6.2.1 Disposición Unilateral.

“Las luminarias son instaladas a un solo lado de la vía, para lo cual se debe emplear las luminarias que cumplan con los requisitos fotométricos exigidos para las alturas de montaje, interdistancia y menor potencia eléctrica requerida. Las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W”. Se utiliza principalmente en vías secundarias, como el centro de la ciudad, áreas residenciales, entre otros. En la Figura 1.2 la disposición unilateral de las luminarias en una vía.

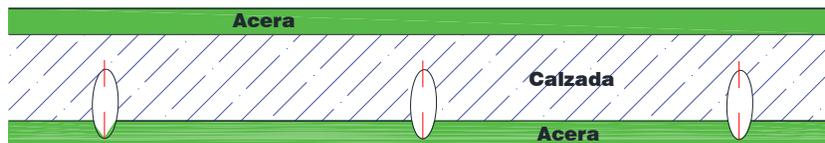


Figura 1. 2 Disposición unilateral.

Fuente: [Autor]

1.6.2.2 Bilateral opuesta

“Es muy usada cuando el ancho de la vía es mucho más grande que la altura de montaje de la luminaria. ($A \gg H$). Se utiliza en avenidas y vías principales”. En la figura 1.3 se puede observar como está distribuida la disposición bilateral opuesta en una vía.

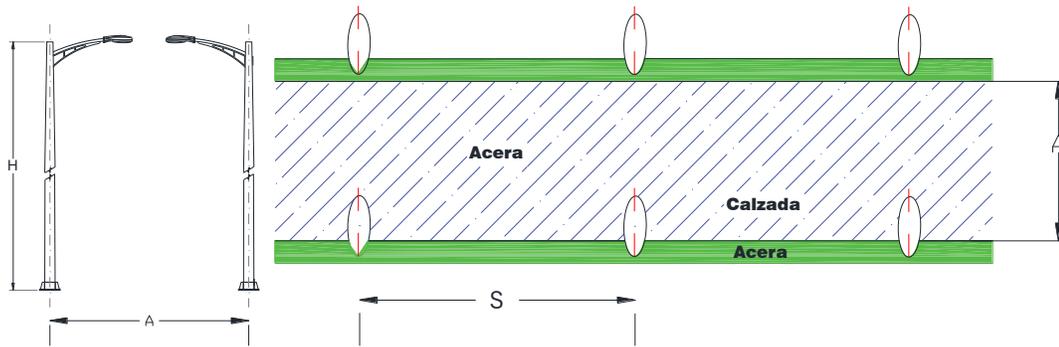


Figura 1. 3 Disposición bilateral opuesta.

Fuente : [Autor]

1.6.2.3 Central doble.

“Su uso es recomendable cuando se tiene dos vías separadas por un pequeño separador de no más de 1,5 m de ancho, se tiene un mayor ahorro económico si los postes comparten en el separador central a manera de dos disposiciones unilateral. Se utiliza en vías con parterre central”. En la figura 1.4 se observa, como se encuentra distribuida la disposición central doble de una vía.

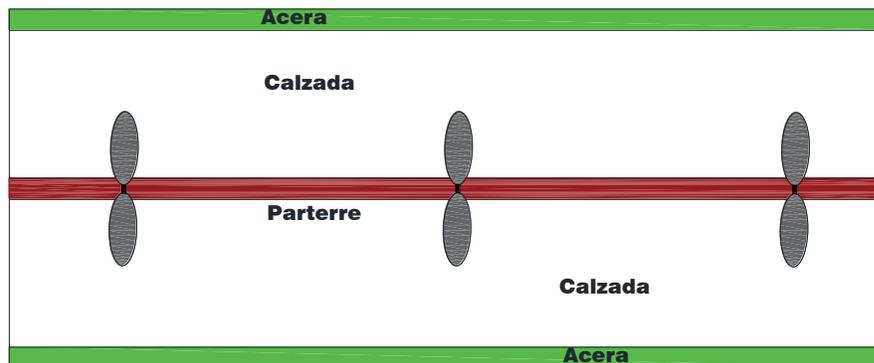


Figura 1. 4 Disposición central con separador menor a 1,5 m.

Fuente: [Autor].

1.6.2.4 Central-Lateral (3 luminarias)

“En esta disposición se emplea dos luminarias por poste para el parterre central y una luminaria en cada poste junto a la vía, las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W. Se utiliza en avenidas con parterre central”. En la figura 1.5 se puede observar como se encuentran distribuidas las luminarias según la disposición mencionada.

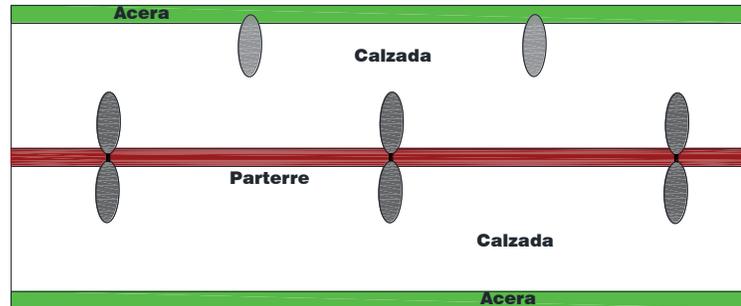


Figura 1. 5 Disposición Central – Lateral (3 luminarias).

Fuente: [Autor].

1.6.2.5 Central-Bilateral (4 Luminarias)

“Empleada en avenidas con parter central en donde se requiere de dos luminarias por poste en parterre central y una luminaria por poste en forma bilateral, las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W”[11]. En la figura 1.6 se puede observar como se encuentran distribuidas las luminarias según la disposición mencionada.

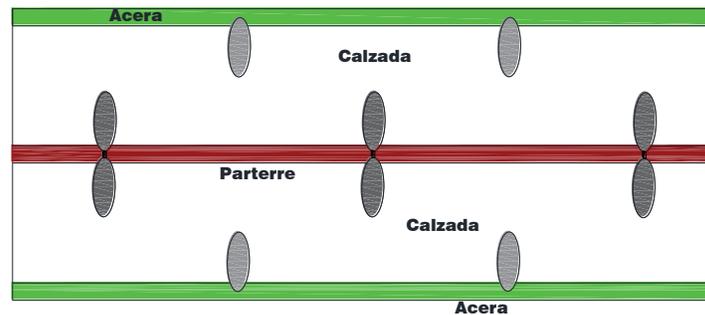


Figura 1. 6 Disposición central – bilateral (4 luminarias).

Fuente: [Autor].

1.6.2.6 Tresbolillo

“Los puntos de luz están situados a ambos lados de la vía a tresbolillo (zig-zag), se emplea cuando el ancho de la vía es ligeramente superior que la altura de montaje de la luminaria ($A > H$). Esta configuración se utiliza en vías principales y avenidas. Las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W. En la Figura 1.7 se puede observar como se encuentran distribuidas las luminarias según la disposición mencionada.

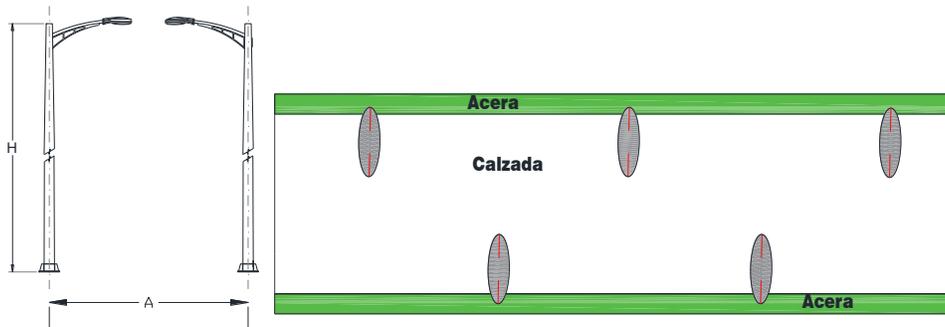


Figura 1. 7 Disposición tresbolillo.

Fuente: [Autor].

1.6.2.7 Tresbolillo (4 luminarias)

“Vías que tienen dos luminarias en los postes de un lado de la vía y una luminaria en los postes del lado contrario. Las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W. Se utiliza en vías principales y avenidas que van junto a las riveras de los ríos para alumbrar vías peatonales”. En la Figura 1.8 se puede observar como se encuentran distribuidas las luminarias según la disposición tresbolillo de 4 luminarias en una vía.

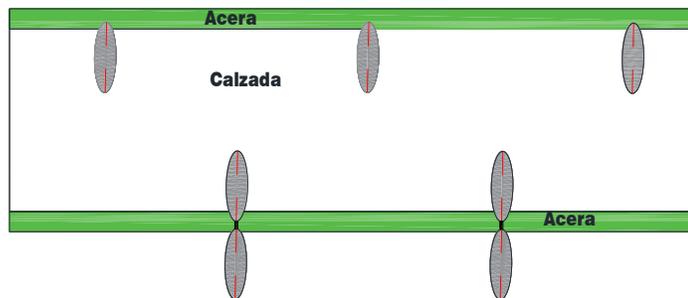


Figura 1. 8 Disposición Tresbolillo (4 luminarias).

Fuente:[Autor].

1.6.2.8 Disposición en curvas.

“En estos casos la iluminación se debe reforzar disminuyendo la distancia entre las luminarias, por lo general las luminarias se colocan en la parte exterior de la curva a una distancia entre luminarias del 70% de la distancia obtenida en el tramo recto, y para curvas más cerradas la distancia entre luminarias se reduce al 50% de la obtenida en el tramo recto”. En la Figura 2.9 se observa como se encuentran distribuidas las luminarias según la disposición tresbolillo en una vía.

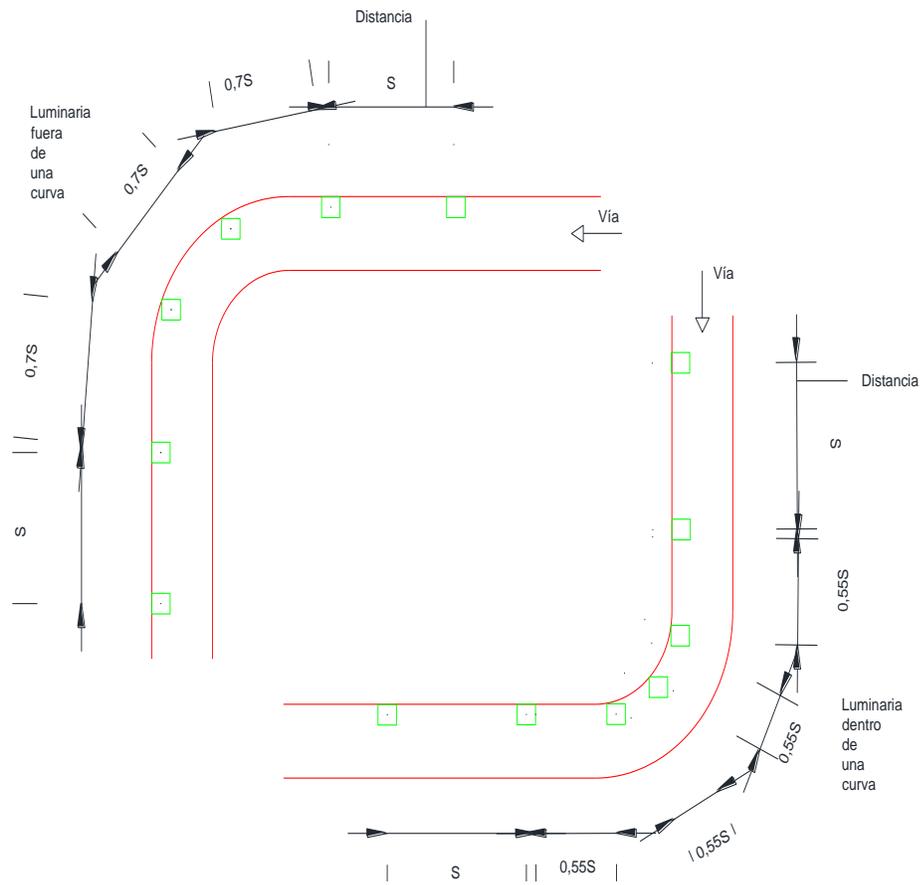


Figura 1. 9 Disposición en curvas.

Fuente: [Autor].

1.6.3 Luminarias.

“Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más lámparas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las lámparas”[10].

1.6.3.1 Elementos de la luminaria.

“Las luminarias de alumbrado público contienen elementos para dirigir, transformar y controlar la luz que es emitida por la bombilla, contiene todos los accesorios mecánicos, componentes eléctricos y de visualización óptica.

Estos componentes son indispensables para el soporte, protección de las bombillas y su conexión a la fuente de alimentación”.[3]

La luminaria para alumbrado público está constituido por diferentes componentes:

- **Carcaza:** Es un elemento que protege y soporta los accesorios mecánicos y eléctricos de los agentes externos o de las inclemencias del medio, pueden ser de aluminio fundido o de algún otro elemento.
- **Brazo o Soporte de Fijación:** Es un elemento de soporte de la luminaria. Debe de ser resistente al peso de la luminaria y debe brindar flexibilidad para realizar sus diferentes mantenimientos.
- **Refractor:** Elemento traslúcido que se emplea para alterar la distribución espacial del flujo luminoso, mediante el proceso de refracción de la luz.
- **Bombilla:** Su funcionamiento es la transformación de la energía eléctrica en luz.
- **Reflector:** Redirige la luz emitida por la bombilla que se dirige en una dirección no deseada.
- **Balasto:** Este componente se usa para obtener las condiciones necesarias del circuito para el encendido y la operación correcta de la bombilla.
- **Condensador:** Este componente se utiliza para el almacenamiento de cargas eléctricas y se opone al cambio brusco, carga y descarga de la tensión, protegiendo al circuito eléctrico. También sirve como corrección del factor de potencia o para mayor aprovechamiento de la energía.

- **Fusible:** Es un elemento que sirve de protección a todos los componentes de la luminaria en caso de obtener altos mayores de corriente causado por un cortocircuito o una sobrecarga de voltaje.
- **Arrancador:** Este elemento sirve para generar pulsos para encender la bombilla de descarga, dando protección y sin ocasionar calentamiento de los electrodos.
- **Fotocontrol:** Es un elemento que se utiliza para conectar y desconectar la luminaria de forma automática.

Tipos y características de lámparas para el alumbrado público.[14]

1.6.3.2 Características de las lámparas de alumbrado público.

Las lámparas para alumbrado público deben caracterizarse por diferentes cualidades que son necesarias e impuestas para el funcionamiento de las mismas, para esto se considera:

- Eficacia luminosa: Es la “relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (lámpara) y la potencia de la misma. La eficacia de una fuente se expresa en lúmenes/vatio (lm/W)”[10][15]
- Duración de la vida económica: Es el tiempo de vida óptima, obteniendo el precio más bajo del lumen por hora (lm/h), este tiempo de vida depende de factores técnicos:
 - a. El tiempo de duración de la vida real de las lámparas en las condiciones de instalación y de utilización.
 - b. El flujo luminoso de la luminaria y su evolución en el transcurso del tiempo.
 - c. Todo esto depende de factores económicos como el precio de la lámpara, costo de instalación y de reemplazo.[15]:
 - d. Temperatura de color: color de la luz emitida por la lámpara

Cálido: aspecto blanco-amarillento T_c 3300° K.

Intermedio: apariencia blanco-neutro 3300° K < T_c 5300° K.

Frío: tonalidad blanco-azulado T_c > 5300° K[16].

1.6.3.3 Lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión son más eficientes que las lámparas de sodio de baja presión, ya que contiene una gran cantidad de sodio en su interior, además este tipo de lámpara contiene mercurio y xenón para facilitar el encendido, esto hace que mejore la calidad de flujo luminoso[16]. En el encendido de las lámparas de vapor de sodio de alta presión se utilizan equipos auxiliares: arrancador, inductancia como estabilizador de la corriente y un condensador para el FD (factor de potencia)[3].

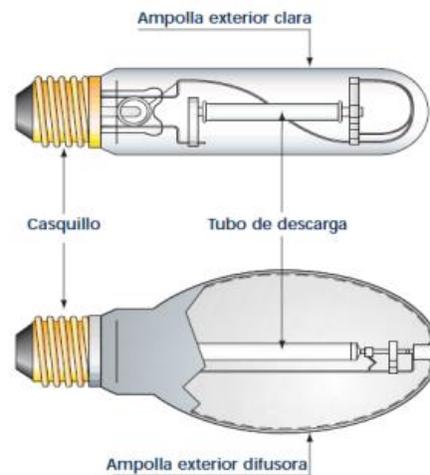


Figura 1. 10 Lámpara de vapor de sodio de alta presión.

Fuente: [17]

1.6.3.4 Lámpara de mercurio de alta presión con halogenuros metálicos.

Esta lámpara contiene un tubo de descarga que está compuesta de haluros metálicos y mercurio, los haluros metálicos se evaporan a una temperatura determinada cuyo vapor se disocia con la zona central caliente del arco de halógeno y metal, lo que permite obtener un aspecto apropiado para la iluminación. Son utilizados para el alumbrado ornamental, dado que son lámparas contaminantes su uso es limitado[16].

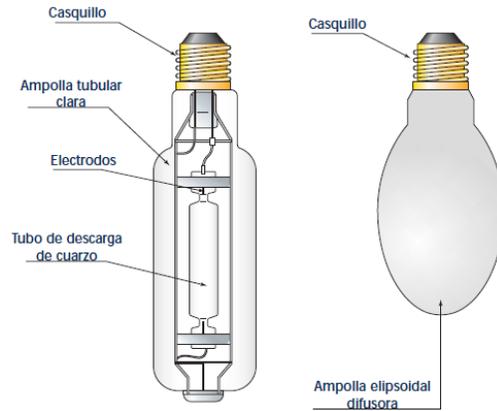


Figura 1. 11 Lámpara de vapor de mercurio de alta presión con halogenuros metálicos.

Fuente: [18]

1.6.3.5 Lámparas de descarga por inducción.

Las lámparas de descarga por inducción es la evolución de las lámparas fluorescentes, su funcionamiento no es a través de un electrodo, se realiza a través de un inductor de ferrita alrededor del cual se enrolla un cable[18].



Figura 1. 12 Lámpara de descarga por inducción electromagnética.

Fuente: [<https://www.construnario.com/notiweb/45424/luminarios-para-alumbrado-publico-de-vialidades-con-lamparas-de-induccion-electromagnetica>].

1.6.3.6 Luminarias Leds.

Se entiende por fuente de luz LED (Light Emitting Diode) como un diodo compuesto por la superposición de varias capas de material semiconductor que emite luz en una o más longitudes de onda cuando es polarizado correctamente. Un diodo es un dispositivo que permite el paso de la corriente en una única dirección y su correspondiente

circuito eléctrico se encapsula en una carcasa plástica, de resina epoxi o cerámica según las diferentes tecnologías[2].

1.6.3.6.1 Módulo LED.

Sistema comprendido por uno o varios LED individuales que puede incorporar otros elementos tales como circuitos impresos, disipadores térmicos, sistemas ópticos y conexiones eléctricas. Su diseño y características modificarán las cualidades y garantías que el propio fabricante de LED individual ofrece, haciendo así necesaria su certificación y pruebas de funcionamiento en su integración en la luminaria y para la correcta aplicación de sus características[2].

1.6.3.6.2 Sistema LED “Retrofit.”

Elemento de tecnología LED para la sustitución directa de otras fuentes de luz y equipos auxiliares asociados, que precisa una justificación fotométrica, mecánica y térmica del comportamiento de todo el sistema donde se encuentra alojado (luminaria de instalación existente)[2].

1.6.3.6.3 Dispositivo de alimentación y control electrónico (“DRIVER”).

Elemento auxiliar básico para regular el funcionamiento de un módulo LED que adecua la energía eléctrica de alimentación recibida por la luminaria a los parámetros exigidos para un correcto funcionamiento del sistema[19].

Como nueva tendencia para el sistema de alumbrado público ha recibido un impulso inusitado en lo referente a la instalación de lámparas LED por sus diferentes prestaciones. En el país es previsible que la utilización de los LED se incremente, debido a que sus aplicaciones son superiores a las lámparas incandescentes y al tubo fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con LED tiene ventajas para el alumbrado público como el ahorro energético que varía entre un 60% y 80% en relación con la iluminación tradicional[20].



Figura 1. 13 Lámpara tipo LED.

Fuente : [<https://listado.mercadolibre.com.co/hogar-muebles/iluminacion-hogar/lampara-led-alumbrado-publico#!messageGeolocation>].

Estas lámparas tiene sus ventajas y desventajas para su uso, donde tenemos:

Ventajas.

- Ahorro energético.
- Larga vida útil.
- Mayor velocidad de arranque.
- Eficiente flujo luminoso.

Desventajas.

- Constante innovación de tecnología.
- Precios relativamente altos[20].

1.6.4 Factor de Mantenimiento.

El factor de mantenimiento mantiene una consideración importante en las instalaciones de luminarias, ya que indica la rapidez con la que la luminaria disminuye su valor especificado o vida útil en dicha instalación.

El valor de la iluminancia inicial de una instalación se calcula con el valor de mantenimiento de la iluminancia y el factor de mantenimiento. El plan de mantenimiento

indica la periodicidad de la limpieza de las luminarias y del local, así como la del cambio de lámparas. Quiere decir que el valor de mantenimiento de la iluminancia depende de las luminarias, lámparas y de las condiciones del local.

1.7 Aspectos financieros para calcular rentabilidad de un proyecto.

1.7.1 VAN.

El VAN (Valor Actual Neto) se refiere al indicador financiero que mide flujos de los ingresos y egresos futuros que tendrán los proyectos, para realizar estudios y visualizar si luego de descontar la inversión inicial se establece una ganancia. La fórmula que nos permite calcular el VAN es[21]:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1 + i)^N}$$

1.7.2 TIR.

Se define mediante la tasa de interés con el cual el valor actual neto (VAN) de una inversión sea igual a cero. El método es aceptable si la TIR (Tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad) de una inversión, resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor (tasa de descuento) y según las alternativas, la más conveniente será la que ofrezca una TIR mayor.

Este método es un indicador de rentabilidad relativa del cualquier proyecto, ya que al realizar una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos, no se tomara en cuenta en cuenta las posibles diferencias en las dimensiones de los mismos[21].

1.7.3 Tasa de crecimiento.

Los cálculos matemáticos que se obtienen de la tasa de crecimiento son la diferencia entre dos valores en el tiempo, teniendo en cuenta la referencia el porcentaje del primer valor, este tipo de indicador se aplica a ámbitos empresariales y económicos de tal manera que pueda averiguar el porcentaje de crecimiento de cualquier supuesto en un periodo determinado de tiempo[22].

1.7.4 Relación Beneficio Costo.

La RBC es la división del valor actualizado de los beneficios del proyecto con el valor actualizado de los costos a una tasa de actualización igual a la tasa de rendimiento mínima aceptable.

Los beneficios actualizados agrupan todos los ingresos actualizados del proyecto, donde se considera las ventas, recuperaciones, todas las entradas económicas y los costos actualizados que son todos los egresos actualizados o salidas del proyecto, como costos de operación, inversiones, pago de impuestos e intereses[23].

“La electricidad es el alma del Universo”.

John Wesley.

CAPÍTULO 2.

ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO.

2.1 Estado actual del Alumbrado Público en la Ciudad de Cuenca.

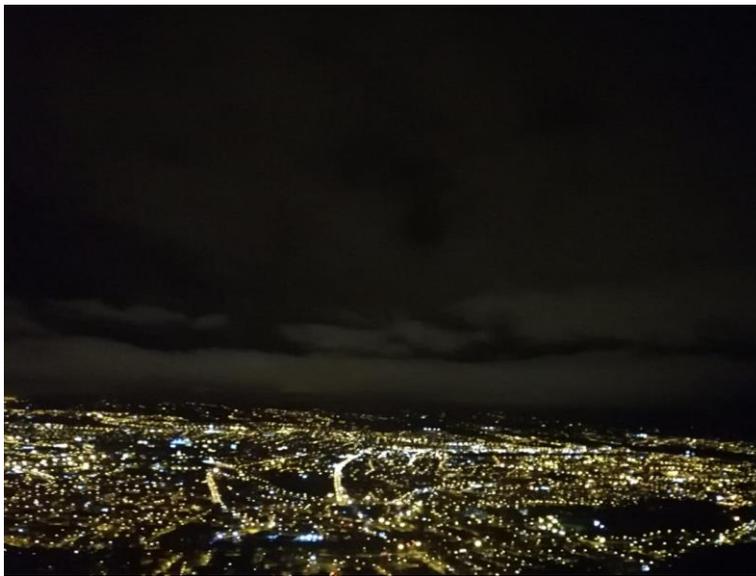


Figura 2.1 Paisaje nocturno de la ciudad de Cuenca.

Fuente: [Autor]

De conformidad con la información que consta en los registros del SIGADE, alumbrado público de la CENTROSUR se encuentran instaladas en la zona urbana del cantón Cuenca un total de 71434 luminarias (registro Noviembre del 2019) entre ellas el 80,6 % son luminarias de sodio y el 6,4% en luminarias LED, mostrando un aumento del 2% en el último año.

2.2 Tipo de luminarias utilizadas en Alumbrado Público General.

2.2.1 Luminarias de sodio de alta presión

Luminarias de sodio de alta presión que forman parte del alumbrado público dentro de la zona urbana de la ciudad son de simple nivel de potencia (SNP) y doble nivel de potencia (DNP). En la tabla 2.1 se observa el tipo de luminarias instaladas y el nivel de potencia que trabaja cada una de ellas.

Tabla 2. 1 Cantidad de luminarias de sodio de alta presión SNP y DNP[8].

Potencia [W]	SNP	DNP	Total lum.
100	6526	263	6789
150	8069	18429	26498
250	3138	21125	24263
Total	17733	39817	57550
Porcentaje	30,8%	69,2%	100%

Es decir el 30,8 % son luminarias sodio son de simple nivel de potencia mientras que el 69,2 % son de doble nivel de potencia.

2.2.2 Luminarias LED

Las luminarias LED que forman parte del sistema de alumbrado público de la ciudad son de simple nivel de potencia (SNP) [8].En la tabla 2.2 se puede observar el tipo de luminarias instaladas y el nivel de potencia que trabaja las luminarias de LED.

Tabla 2.2 Cantidad de luminarias LED [8].

Potencia [W]	Luminarias	Potencia [W]	Luminarias
≤ 70	1.416	139	30
75	43	150	40
90	1.836	155	39
100	29	180	105
106	8	212	62
110	6	220	28
114	84	250	109
120	84	400	627
135	44	500	11

2.3 Disposición del alumbrado público.

El sistema de alumbrado público en la ciudad de Cuenca consta de las siguientes distribuciones de luminarias: unilateral, bilateral, tresbolillo y central[8].

2.3.1 Distribución unilateral

En cuanto a la distribución unilateral es utilizada en vías secundarias. En la tabla 2.3 se observa vías en que se encuentra instalada la distribución unilateral[8].

Tabla 2.3 Distribución unilateral [8].

UNILATERAL	Centro de la Ciudad
	Áreas residenciales

2.3.2 Distribución bilateral.

La distribución bilateral en avenidas y vías principales, en la tabla 2.4 se observa en que vías de la ciudad se encuentra instalada.

Tabla 2.4 Distribución bilateral [8].

BILATERAL	Av. De los Conquistadores
	Av. Carlos Arizaga Vega
	Av. Diez de Agosto
	Av. México
	Calle Unidad Nacional
	Av. Doce de Abril
	Av. Max Uhle
	Av. España
	Panamericana Norte
	Calle Del Pedregal
	Av. Héroes de Verdeloma

2.3.3 Distribución central.

La distribución central es aplicada en Avenidas, tomando en cuenta que existen también central lateral de 3 luminarias como central bilatera de 4 luminarias, en la tabla 2.5 se observa en que avenidas de la ciudad se encuentra instalada cada una de estas distribuciones.

Tabla 2.5 Distribución central [8].

CENTRAL	Circunvalación Sur
	Av. De las Américas
	Av. Isabela Católica
	Av. Enrique Arizaga Toral
	Av. Paraíso
	Av. Los Andes
	Av. González Suarez
	Av. Gil Ramírez Dávalos
	Calle Vieja
	Calle De las Laderas
	Calle Turuhuaico
	Av. Del toril
	CENTRAL-LATERAL (3 lum.)
CENTRAL-BILATERAL (4 lum.)	Calle Roberto Crespo Toral

3.2.3 Distribución tresbolillo.

La distribución tresbolillo se utiliza en avenidas y vías principales, tomando en cuenta que existe trebolillo de 4 y 6 luminarias, en la tabla 2.6 se observa la distribución en ciertas avenidas de la ciudad.

Tabla 2.6 Distribución tresbolillo [8].

TRESBOLILLO	Camino a Baños
	Panamericana Sur
	Av. Loja
	Av. Nicolás Roche
	Av. Don Bosco
	Av. Doce de Octubre
	Av. Felipe II
	Calle José Ortega
	Calle Hernán Malo Gonzales
	Calle Daniel Fernández de Córdova
	Calle Leopoldo Dávila Cordero
	Calle Padre Julio Matovelle
	Calle Juan Bautista Vásquez
	Calle Cesar Dávila Andrade
	Calle Federico Proaño
	Camino Del Tejar
	Calle Abelardo J. Andrade
	Calle Paucarbamba
	Av. Paseo de los Cañarís
	Av. Hurtado de Mendoza
Av. Huayna Cápac	
Calle Núñez de Bonilla	
Av. Remigio Crespo Toral	
TRESBOLILLO (4 luminarias)	Av. Primero de Mayo
	Paseo Rio Yanuncay
	Av. Veinte y Cuatro de Mayo
	Av. Pumapungo
	Calle Ricardo Darquea Granda
	Calle Víctor Manuel Albornoz
	Av. Tres de Noviembre
	Av. Ordoñez Lazo

“La vida te va a pegar en la cabeza con un ladrillo.

Pero no pierdas la fe”.

Steve Jobs.

CAPÍTULO 3.

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS LUMINARIAS DE SODIO VS LED DENTRO EL ALUMBRADO PÚBLICO.

En el presente capítulo se determina que tipos de luminarias pueden sustituir de manera técnica a las luminarias existentes en el cantón Cuenca.

Para lo cual se determinó inicialmente los tipos de luminarias utilizadas en diferentes vías, se estableció las características de las vías, especificando: ancho de las vías, número de carriles, tipo de pavimento, etc. Así también se determina las condiciones actuales de montaje de las luminarias, como son: altura de montaje, longitud de los brazos, ángulo de inclinación, etc. Y se procedió a determinar los niveles de iluminación en tres tipos generales de vías utilizando luminarias de 250, 150 y 100 W.

Una vez establecidos los niveles de iluminación para estos tres tipos de luminarias, se buscó en el mercado local diferentes tipos de luminarias led, con las cuales se realizaron simulaciones que cumplan las condiciones de; niveles de iluminación, uniformidad y deslumbramiento que presentan actualmente las luminarias de sodio.

Determinando cuales son las luminarias led que técnicamente pueden sustituir a las de sodio, sin disminuir las prestaciones actuales de servicio de alumbrado público. Previendo que de darse las sustituciones no afecte a la percepción ciudadana de la calidad de servicio.

3.1 Determinación de los tipos de vías en el Cantón Cuenca.

Se define tres tipos de vías específicas basadas en casos reales dentro la ciudad, donde cada una de ellas muestra las siguientes condiciones generales.

Primera vía:

- Ancho de vía ocho metros y dos carriles.
- Se analiza con una luminaria de 250 W de sodio.

Segunda vía:

- Ancho de vía ocho metros y dos carriles.
- Se analiza con una luminaria de 150 W de sodio.

Tercera vía:

- Ancho de vía cuatro metros y un carril.
- Se analiza con una luminaria de 100 W de sodio.

Por otra parte, cabe mencionar, que el tipo de pavimento que se establece para las tres vías es rígido, con un coeficiente de reflectividad en la calzada de 0,07.[24]

3.2 Determinación de las condiciones de montaje.

Basados en las condiciones actuales de montaje en luminarias de sodio, se establece las siguientes condiciones generales.

Primera vía:

- Distancia entre postes, 35 metros.
- Altura de montaje, 10.4 metros.
- Longitud del brazo, 1.8 metros.

Segunda vía:

- Distancia entre postes, 35 metros.
- Altura de montaje, 8.6 metros.
- Longitud del brazo, 1.5 metros.

Tercera vía:

- Distancia entre postes, 30 metros.
- Altura de montaje, 8.6 metros.
- Longitud del brazo, 1.5 metros.

Se debe agregar que se estableció; la distancia del mástil a la calzada 0.35 metros, el factor de mantenimiento para luminaria de sodio 0.8 y el factor de mantenimiento para luminaria led 0.9, para los tres tipos vías respectivamente[24].

3.3 Descripción de las simulaciones.

3.3.1 Simulaciones con las luminarias de sodio.

En cuanto a las simulaciones de las luminarias de sodio se desarrollaron en el programa Ulysse, en donde se analizó tres diferentes luminarias instaladas en la ciudad con los escenarios antes mencionados. Por otra parte, los modelos de las luminarias implementadas son las siguientes:

Primera vía:

- ONYX 3/Glass Standard Bended/1399

Segunda vía:

- ONYX 2/Glass Standard Bended/1419/

Tercera vía:

- OPALO 2/PC Deep bowl.

3.3.2 Simulaciones con las luminarias de led.

Con respecto a las simulaciones de las luminarias LED, se desarrollaron en el software Dialux EVO buscando varias luminarias que puedan prestar el servicio actual de las luminarias de sodio. Se buscó y comparó las fotometrías, potencias y temperaturas de las luminarias LED buscando la mejor tecnología que pueda sustituir a las luminarias convencionales de sodio.

3.3.3 Resultados obtenidos de las simulaciones.

Las tablas siguientes muestran el resumen de las simulaciones con luminarias de sodio y LED, mostrando las características del sistema de iluminación, descripción de las luminarias, características de las luminarias y el resultado de las simulaciones.

Primera vía.

En la tabla 3.1 se presenta el caso de la sustitución de la luminaria de 250W de sodio. La luminaria instalada muestra un flujo luminoso de 33000 lm y un rendimiento lumínico de 132 lm/W, dando como resultado de la simulación los siguientes niveles.

$$L_m = 2.42 \text{ cd/m}^2$$

$$U_o = 0.57 \%$$

$$U_L = 0.57\%$$

$$T_I = 11\%.$$

$$EIR = 0.76$$

Dentro del análisis con luminarias LED, existen cinco posibles luminarias que cumplen con los niveles establecidos de sodio. A su vez la luminaria que muestra las mejores características de iluminación, es la luminaria LED 4, potencia de 178 W, un flujo luminoso de 25920 lm y un rendimiento lumínico de 145.61 lm/W y ángulo de inclinación de 13 grados, mostrando el siguiente resultado:

$$L_m = 2.57 \text{ cd/m}^2$$

$$U_o = 0.67 \%$$

$$U_L = 0.82\%$$

$$T_I = 13\%.$$

$$E_{IR} = 0.64$$

Dentro de la misma tabla también se muestra las simulaciones realizadas con otras luminarias LED, las cuáles no cumplen con los niveles establecidos de iluminación para el reemplazo de las luminarias de 250 W de sodio.

Tabla 3. 1. Resumen de las simulaciones con luminarias de sodio y LED para reemplazo de luminaria de 250 W.

Especificaciones	Tipo	Características del sistema de iluminación	Características de las luminarias									Resultado de simulaciones						
			Tipo de luminaria	Potencia [W]	Rendimiento lumínico de la luminaria [lm/W]	Flujo luminoso de luminaria [lm]	Rendimiento lumínico de la lámpara [lm/W]	Flujo luminoso de la lámpara [lm]	Grado de eficacia de funcionamiento [%]	Ángulo de inclinación del brazo [grados]	Temperatura del color [°K]	Lm [cd/m^2]	Uo [%]	UL [%]	TI [%]	Relación de alrededores		
Ancho de vía 8 m 2 carriles	Disposición unilateral	Distancia entre postes 35 m Altura de montaje 10,4 m Distancia del brazo 1,8 m Distancia mástil a la calzada 0,35 m Factor de mantenimiento Na: 0,8 Factor de mantenimiento LED: 0,9 Coef. de reflectividad a la calzada $Q_0 = 0,07$	Luminaria instalada	Sodio	250	132,0	33000	106,9	26730	81,0	15	2100	2,42	0,57	0,57	11,00	0,76	Anexo 3.1
			Luminarias LED que pueden sustituir	LED 3	215	162,8	35000	144,3	31033	88,7	0	4000	2,90	0,63	0,82	10,00	0,80	Anexo 3.2
				LED 3	245	163,3	40000	145,4	35624	89,1	0	4000	2,66	0,67	0,83	8,00	0,88	Anexo 3.5
				LED 4	178	145,6	25920	119,8	21327	82,3	15	3000	2,57	0,67	0,82	13,00	0,64	Anexo 3.4
			Luminarias LED que no cumplen con los niveles establecidos	LED 4	142	159,5	22656	132,9	18869	82,0	0	3000	2,59	0,54	0,84	6,70	0,70	Anexo 3.17*
				LED 2	180	150,0	27000	149,9	26973	99,9	15	3500 - 4000	2,57	0,58	0,80	11,00	0,73	Anexo 3.3*
				LED 5	240	122,8	29360	122,3	29354	100,0	0	4000 - 5000	2,69	0,53	0,76	10,00	0,71	Anexo 3.6
				LED 1	230	140,6	32330	120,9	27804	86,0	15	5000	2,32	0,45	0,60	13,00	0,74	
				LED 1	210	122,2	25670	105,1	22076	86,0	0	5000	2,00	0,50	0,55	12,00	0,83	
				LED 2	160	141,3	22605	141,1	22582	99,9	0	3500 - 4000	2,34	0,58	0,45	11,00	0,64	
				LED 3	170	173,8	29550	154,1	26202	88,7	0	4000	2,31	0,49	0,61	10,00	0,63	
				LED 3	190	160,4	30470	142,2	27018	88,7	0	4000	2,23	0,47	0,59	10,00	0,62	
				LED 4	186	105,2	19560	86,5	16094	82,3	15	3000	2,42	0,54	0,46	8,00	0,75	
				LED 4	200	98,5	19690	81,0	16201	82,3	10	3000	2,46	0,45	0,53	10,00	0,82	
				LED 4	165	98,8	16310	81,3	13420	82,3	0	3000	2,38	0,30	0,49	9,00	0,76	
LED 5	238	117,0	27850	117,0	27844	100,0	5	4000 - 5000	2,40	0,40	0,54	11,00	0,70	*				
LED 1	215	119,4	25670	102,7	22076	86,0	0	5000	2,39	0,49	0,60	11,00	0,69	*				
LED 5	230	116,3	26760	116,3	26755	100,0	0	4000 - 5000	2,41	0,53	0,43	10,00	0,53	*				

Nota: El número de LED muestra las diferentes marcas con las que se realiza la simulación. La luminaria de sodio de 250W implementada esta resaltada con color azul y las luminarias LED que pueden sustituir resaltada con color tomate. * Las luminarias con marcadas con asterisco tienen datos inconsistentes en las matrices.

Segunda vía.

De igual manera en la tabla 3.2 se presenta el caso de la sustitución de la luminaria de 150 W de sodio. La luminaria instalada muestra un flujo luminoso de 17000 lm y un rendimiento lumínico de 113,3 lm/W, dando como resultado de la simulación los siguientes niveles.

$$L_m = 1.52 \text{ cd/m}^2$$

$$U_o = 0.421 \%$$

$$U_L = 0.706\%$$

$$T_I = 14.9\%$$

$$EIR = 0,65$$

Dentro del análisis con luminarias LED, existen cuatro posibles luminarias que cumplen con los niveles establecidos de sodio. A su vez la luminaria que muestra las mejores características de iluminación, es la luminaria LED 4, potencia de 108 W, un flujo luminoso de 16272 lm y un rendimiento lumínico de 121.8 lm/W, y un ángulo de inclinación de 0 grados, mostrando el siguiente resultado:

$$L_m = 1.55 \text{ cd/m}^2$$

$$U_o = 0.45 \%$$

$$U_L = 0.7\%$$

$$T_I = 10\%$$

$$EIR = 0,5$$

Dentro de la misma tabla también se muestra las simulaciones realizadas con otras luminarias LED, las cuáles no cumplen con los niveles establecidos de iluminación para el reemplazo de las luminarias de 150 W de sodio.

Tabla 3. 2 Resumen de las simulaciones con luminarias de sodio y LED para la segunda vía.

Especificaciones	Tipo	Características del sistema de iluminación	Características de las luminarias									Resultado de simulaciones						
			Tipo de luminaria	Potencia [W]	Rendimiento lumínico de la luminaria [lm/W]	Flujo luminoso de luminaria [lm]	Rendimiento lumínico de la lámpara [lm/W]	Flujo luminoso de lámpara [lm]	Grado de eficacia de funcionamiento [%]	Ángulo de inclinación del brazo [grados]	Temperatura del color [°K]	Lm [cd/m^2]	Uo [%]	UL [%]	TI [%]	Relación de alrededores		
Ancho de vía 8 m 2 carriles	Disposición unilateral	Distancia entre postes 35 m Altura de montaje 8,6 m Distancia del brazo 1,5 m Distancia mástil a la calzada 0,35 m Factor de mantenimiento Na: 0,8 Factor de mantenimiento LED: 0,9 Coef. de reflectividad a la calzada $Q_0 = 0,07$	Luminaria instalada	Sodio	150	113,33	17000	113,3	13600	80	15	2100	1,52	0,42	0,71	14,90	0,65	Anexo 3.7
			Luminarias LED que pueden sustituir	LED 4	108	121,8	16272	122	13151	80,82	0	3000	1,55	0,45	0,70	10,00	0,50	Anexo 3.11
				LED 3	94	154	16000	170,2	14476	90,48	0	4000	1,55	0,54	0,74	11,00	0,70	Anexo 3.10
			Luminarias LED que no cumplen con los niveles establecidos	LED 4	107	133	13593	105,8	11321	82	15	3000	1,67	0,46	0,58	7,10	0,70	Anexo 3.18*
				LED 1	110	110	12100	110	12097	99,97	0	5000	1,50	0,47	0,75	15,00	0,59	Anexo 3.8*
				LED 2	90	150	13500	149,9	13487	99,9	10	3500 - 4000	1,58	0,44	0,71	13,00	0,50	Anexo 3.9*
				LED 1	100	116	11554	104	10399	90	0	5000	1,46	1,39	0,65	13,00	0,60	*
				LED 1	90	126	11340	125	11227	99	0	5000	1,43	1,37	0,61	11,00	0,70	*
				LED 1	106	114	12034	111	11793	98	0	5000	1,49	1,45	0,69	10,00	0,40	*
				LED 2	84	147	12367	144	12120	98	15	3500 - 4000	1,36	1,43	0,70	10,00	0,45	*
				LED 2	80	150	12012	149	11892	99	15	3500 - 4000	1,34	1,31	0,80	11,00	0,76	*
				LED 2	70	160	11220	159	11108	99	15	3500 - 4000	1,49	1,43	0,60	12,00	0,56	*
				LED 3	100	143	14329	122	12180	85	0	4000	1,50	1,47	0,72	10,00	0,34	*
				LED 3	88	153	13456	133	11707	87	15	4000	1,42	1,38	0,71	10,00	0,23	*
				LED 4	110	118	13012	96	10516	80,82	15	4000	1,50	1,43	0,50	11,00	0,56	*
LED 4	98	127	12456	103	10067	80,82	0	4000	1,38	1,32	0,60	12,00	0,65	*				
LED 4	100	128	12789	103	10336	80,82	0	4000	1,46	1,39	0,67	10,00	0,60	*				
LED 5	100	120	12045	120	12021	99,8	0	4000 - 5000	1,48	1,39	0,69	12,00	0,50	*				

Nota: El número de LED muestra las diferentes marcas con las que se realiza la simulación. La luminaria de sodio de 150W implementada esta resaltada con color azul y las luminarias LED que pueden sustituir resaltada con color tomate. * Las luminarias con marcadas con asterisco tienen datos inconsistentes en las matrices.

Tercera vía.

La tabla 3.3 presenta el caso de la sustitución de la luminaria de 100 W de sodio. La luminaria instalada muestra un flujo luminoso de 11000 lm y un rendimiento lumínico de 110 lm/W, dando como resultado de la simulación los siguientes niveles.

$$L_m = 0.93 \text{ cd/m}^2$$

$$U_o = 0.7 \%$$

$$U_L = 0.6\%$$

$$T_I = 7.9\%$$

$$EIR = 0,57$$

Dentro del análisis con luminarias LED, existen cuatro posibles luminarias que cumplen con los niveles establecidos de sodio. A su vez la luminaria que muestra las mejores características de iluminación, es la luminaria LED 4, potencia de 42 W, un flujo luminoso de 5906 lm y un rendimiento lumínico de 141 lm/W, y un ángulo de inclinación de 0 grados, mostrando el siguiente resultado:

$$L_m = 0.78 \text{ cd/m}^2$$

$$U_o = 0.89 \%$$

$$U_L = 0.8 \%$$

$$T_I = 8\%.$$

$$EIR = 0.74$$

Dentro de la misma tabla también se muestra las simulaciones realizadas con otras luminarias LED, las cuáles no cumplen con los niveles establecidos de iluminación para el reemplazo de las luminarias de 100 W de sodio.

Tabla 3. 3 Resumen de las simulaciones con luminarias de sodio y LED para la tercera vía.

Especificaciones	Tipo	Características del sistema de iluminación	Características de las luminarias									Resultado de simulaciones						
			Tipo de luminaria	Potencia [W]	Rendimiento lumínico de la luminaria [lm/W]	Flujo luminoso de luminaria [lm]	Rendimiento lumínico de la lámpara [lm/W]	Flujo luminoso de lámpara [lm]	Grado de eficacia de funcionamiento [%]	Ángulo de inclinación del brazo [grados]	Temperatura del color [°K]	Lm [cd/m^2]	Uo [%]	UL [%]	TI [%]	Relación de alrededores		
Ancho de vía 4m 1 carril	Disposición unilateral	Distancia entre postes 30 m Altura de montaje 8,6 m	Luminaria instalada	Sodio	100	110	11000	88	8800	80	15	2100	0,93	0,7	0,6	7,9	0,57	Anexo 3.12
			Luminarias LED que pueden sustituir	LED 3	51	169	8600	144	7348	85,44	15	3700	1,25	0,76	0,84	11	0,77	Anexo 3.15
				LED 4	42	141	5906	115,2	4839	81,94	0	4000	1,16	0,81	0,87	8	0,74	Anexo 3.16
		Distancia del brazo 1,5 m Distancia mástil a la calzada 0,35 m Factor de mantenimiento Na: 0,8 Factor de mantenimiento LED: 0,9 Coef. de reflectividad a la calzada Qo = 0,07	Luminarias LED que no cumplen con los niveles establecidos	LED 4	71	106	9062	96,4	94	82	0	4000	1,37	0,74	0,75	10,6	0,75	Anexo 3.19*
				LED 1	57	112	6393	109,4	6374	99,7	0	5000	1,16	0,8	0,85	10	0,85	Anexo 3.13*
				LED 2	40	149,85	6000	150	5994	99,9	0	3500 - 4000	1,05	0,78	0,89	8	0,77	Anexo 3.14*
				LED 1	60	107	6393	111	6374	99,7	0	5000	1,16	0,8	0,85	10	0,34	
				LED 2	30	192	5748	149	5742	99,9	0	3500 - 4000	0,94	0,8	0,85	9	0,23	*
				LED 3	42	172	7210	113	6160	85,44	15	4000	0,92	0,69	0,76	10	0,56	
				LED 3	40	178	7129	110	6091	85,44	0	4000	0,95	0,76	0,86	8	0,65	
				LED 4	45	110	4937	116	4045	81,94	15	4000	0,89	0,75	0,6	7	0,6	
				LED 4	38	112	4237	114	3472	81,94	0	4000	0,98	0,6	0,78	8	0,5	
				LED 5	50	69	3456	111	3449	99,8	0	4000 - 5000	1	0,5	0,54	9	0,76	*

Nota: El número de LED muestra las diferentes marcas con las que se realiza la simulación. La luminaria de sodio de 150W implementada esta resaltada con color azul y las luminarias LED que pueden sustituir resaltada con color tomate. * Las luminarias con marcadas con asterisco tienen datos inconsistentes en las matrices.

Conclusiones del capítulo.

Para determinar el reemplazo de una luminaria de Na por una luminaria LED, se fundamentó en el resultado de parámetros fotométricos como: luminancia promedio de la calzada, uniformidad general de la luminancia de la calzada, uniformidad longitudinal de la calzada, deslumbramiento, la relación de alrededores, el grado de eficiencia de funcionamiento, el rendimiento lumínico y el flujo luminoso, respetando el rango de temperatura entre los 2700°K y 4000 °K según lo solicitado por el MEER.

La sustitución de las luminarias de 250W de Na con un rango de dieciséis luminarias LED analizadas, en donde, solo tres se ajustan con los niveles de iluminación actuales de la ciudad. Siendo la de 178 W tipo LED la que presenta sus mejores características para la sustitución.

La regla de modelación propuesta permite determinar que para luminarias de 150 W de NA, con un grado de eficiencia de rendimiento entre los 80 y 91%, entrega como resultado para el reemplazo la luminaria LED de 94 W.

En el caso de las luminarias de 100 W frente a un testeo de once luminarias LED, solo dos luminarias se ajustan con los niveles de iluminación con los parámetros luminotécnicos adquiridos de las luminarias actualmente instaladas. El grado de eficiencia de funcionamiento de estas luminarias están entre los 81 y 85 % de rendimiento, siendo la luminaria LED de 42 W la que presenta una mejor eficiencia para la sustitución.

Es importante mencionar que la eficiencia de las luminarias LED no depende de la potencia, sino de la eficiencia del LED y las fotometrías de las mismas.

Las luminarias marcadas con un (*) dentro de la tabla resumen, muestran las luminarias con datos inconsistentes, como: rendimiento lumínico, flujo luminoso y factor de mantenimiento.

*“Hoy en día, la gente sabe el precio de todo
y el valor de nada”.*

Oscar Wilde.

CAPÍTULO 4.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL REEMPLAZO DE LAS LUMINARIAS DE NA POR LAS LUMINARIAS LED.

En el presente capítulo se determinó cuan viable es reemplazar las luminarias de sodio por luminarias LED, tras realizar un análisis técnico económico en base a: costo de inversión, costo de mantenimiento preventivo y costo de energía.

Para lo cual se estableció un plan de mantenimiento preventivo para los dos tipos de luminarias tomando en cuenta SNP y DNP, establecidos por la vida útil de cada uno de los elementos que lo conforman y referencia de periodos de cambio utilizados por la EERCS.

Establecido el plan de mantenimiento para los dos tipos de luminarias, se busca en el mercado local el costo de las luminarias y el costo de los elementos a sustituir. La tasa de crecimiento de materiales de construcción en los últimos años se proyecta para cada uno de los elementos con una tiempo de vida útil a 15 años para 250,150 y 100 W en sodio y tiempo de vida útil a 20 años para 178, 94 y 42 W en LED.

El costo horario de la mano de obra calificada en los grupos de trabajo y los costos indirectos generales de fabricación se obtuvieron del Departamento de Alumbrado Público de la EERCS. En el calculo del costo de la energía consumida por las luminarias de sodio y LED, se incluyen las pérdidas de energía propias de cada luminaria referenciadas por la Regulación 006/18 del ARCONEL; tomando como base el procedimiento para la

amortización no lineal de acuerdo al tiempo de vida útil y su costo anual en base al consumo de la energía.

Finalmente, para conocer si el proyecto de sustitución es rentable se realizó un análisis con los indicadores económicos VAN, TIR y RBC.

4.1 Determinación de parámetros de cálculo.

4.1.1 Plan de mantenimiento para las luminarias.

Se estableció un plan de mantenimiento preventivo para los dos tipos de luminarias, determinados por la vida útil de los elementos que conforman cada luminaria y referencia de los períodos de cambio utilizados en la EERCS[8].

Se determinó dos tipos de mantenimiento para las luminarias de Na: el primer mantenimiento parcial cada 4 años, donde se realiza un cambio de bombillo, inictor, fotocélula y limpieza del difusor para luminarias de SNP y en el caso de luminarias de DNP se añade el relé programable. El segundo mantenimiento que se delimitó es total cada 8 años y se reemplaza; bombillo, inictor, balastro, capacitor, fotocélula, relé programable para luminarias de DNP, se incluye la limpieza del difusor. La tabla 4.1 muestra el plan de mantenimiento preventivo en las luminarias de Na.

Tabla 4.1 Programación de mantenimiento de luminarias de Na.

PROGRAMACIÓN DE CAMBIO DE ELEMENTOS EN LUMINARIAS DE SODIO						
ALUMBRADO PÚBLICO						
CAMBIOS DE ACCESORIOS DURANTE LA VIDA ÚTIL CONSIDERANDO MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
						DNP
Año	BOMBILLO	INICTOR	BALASTRO	CAPACITOR	FOTOCÉLULA	RELÉ PROGRAMABLE
Fin del 1er año						
Fin del 2do año						
Fin del 3er año						
Fin del 4to año	✓	✓			✓	✓
Fin del 5to año						
Fin del 6to año						
Fin del 7mo año						
Fin del 8vo año	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fin del 9no año						
Fin del 10mo año						
Fin del 11avo año						
Fin del 12avo año	✓	✓			✓	✓
Fin del 13avo año						
Fin del 14avo año						
Fin del 15avo año						
Total de cambios	3	3	1	1	3	3

Para las luminarias LED se definió un solo tipo de mantenimiento cada 5 años, donde se realiza un cambio de ; driver, limpieza de difusor y en caso de DNP se agrega el relé programable[8].

La tabla 4.2 continuación muestra el plan de mantenimiento para luminarias LED.

Tabla 4. 2 Programación de mantenimiento en luminarias LED.

PROGRAMACIÓN DE CAMBIO DE ELEMENTOS EN LUMINARIAS LED.		
ALUMBRADO PÚBLICO		
CAMBIOS DE ACCESORIOS DURANTE LA VIDA ÚTIL CONSIDERANDO MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
		DNP
Año	DRIVER	RELÉ PROGRAMABLE
Fin del 1er año		
Fin del 2do año		
Fin del 3er año		
Fin del 4to año		
Fin del 5to año	✓	✓
Fin del 6to año		
Fin del 7mo año		
Fin del 8vo año		
Fin del 9no año		
Fin del 10mo año	✓	✓
Fin del 11avo año		
Fin del 12avo año		
Fin del 13avo año		
Fin del 14avo año		
Fin del 15avo año	✓	✓
Fin del 16avo año		
Fin del 17avo año		
Fin del 18avo año		
Fin del 19avo año		
Fin del 20avo año		
Total de cambios	3	3

4.1.2 Costo de los materiales.

El precio inicial de las luminarias de sodio instaladas en la ciudad se obtuvo de los precios unitarios de la CENTROSUR, y para las luminarias LED el precio inicial se obtuvo de los principales distribuidores dentro del mercado local.

La tabla 4.3 muestra el costo inicial de las luminarias en SNP y DNP para luminarias de sodio y LED.

Tabla 4. 3 Precio inicial de las luminarias

Costos de las luminarias			
Tipo de luminaria	DNP		SNP
	Sodio	250 W	150 W
223,6 USD		174,01 USD	144,76 USD
Led	178 W	94 W	42 W
	582,4 USD	560 USD	470,4 USD

Nota: Costo obtenido de distribuidores de luminarias en el mercado local.

Por otra parte, los costos de cada uno de los elementos a reemplazar en el mantenimiento de las luminarias se obtuvieron a través de locales comerciales de la ciudad. La tabla 4.4 muestra el precio de los elementos de las luminarias de Na y la tabla 4.5 el precio de las luminarias LED, y la vida útil de los mismos[8].

Tabla 4. 4 Precio de los elementos a sustituir en las luminarias de Na.

COSTO ACCESORIOS DE LA LUMINARIA DE NA				
ELEMENTOS	Costo Unitario [USD]			Vida útil
	100 W	150W	250W	años
Costo bombilla	8,96	9,02	9,52	4,0
Costo inigtor	5,80	5,80	5,80	4,0
Costo balasto	8,90	10,00	15,00	10,0
Costo Capacitor	2,22	3,10	4,00	10,0
Costo fotocelula	6,20	6,20	6,20	5,0
Relé programable	27,00	27,00	27,00	7,5

Nota: Vida útil obtenida de catálogo de componentes, diferentes marcas.

La tabla siguiente muestra el precio del drive, el costo del relé programable y la vida útil de los elementos que conforman la luminaria LED[8].

Tabla 4. 5 Precio de los elementos a sustituir en las luminarias LED.

COSTO ACCESORIOS DE LA LUMINARIA LED				
ELEMENTOS	Costo Unitario [USD]			Vida Util
	42W	94 W	178 W	años
Costo driver	16,8	32	40,8	5,7
Relé programable	27	27	27	7,5

Nota: Catálogos de proveedores (vida útil) y costo distribuidores mercado local

4.1.3 Costo de la mano de obra

El costo de la mano de obra es variable considerado de acuerdo al tiempo empleado en el cambio de los elementos de las luminarias en cada mantenimiento, sin embargo, se tiene el costo por hora de los grupos de trabajo de la EERCS. El costo de la mano de obra por hora es igual para ambas luminarias, la tabla 4.6 indica el costo por hora y por minuto del supervisor de sistemas de distribución y electricista.

Tabla 4. 6 Costo por hora de la mano de obra.

COSTO HORARIO DE LOS GRUPOS DE TRABAJO TIPO DE LA EERCS.CA.		
ALUMBRADO PÚBLICO MANTENIMIENTO		
CARGO	COSTO/HORA HOMBRE/PROMEDIO	COSTO/MINUTO HOMBRE/PROMEDIO
SUPERVISOR DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	6,04	
ELECTRICISTA	4,77	
COSTO TOTAL DEL GRUPO	10,81	0,180

Nota:Referencia del costo de EERCS.

4.1.4 Costos generales.

El costo del traslado del grupo de trabajo y las herramientas son considerados costos variables dentro del mantenimiento, de acuerdo al tiempo empleado en el cambio de los elementos para ambas luminarias, sin embargo, se tiene como

referencia el precio por hora de los costos generales, dato que se obtuvo del Departamento de Alumbrado Público de la CENTRO SUR[8].

La tabla 4.7 muestra el costo por hora del traslado del personal y herramientas.

Tabla 4. 7 Costos generales de las luminarias

COSTOS GENERALES DE LUMINARIAS		
	COSTO/HORA CGF/PROMEDIO	COSTO/MINUTO CGF/PROMEDIO
COSTO VEHICULO "CARRO CANASTA FORD 350"	20,01	
HERRAMIENTAS	0,54	
COSTO TOTAL HORA DEL GRUPO	20,55	0,3425

Nota: Referencia costo de EERCS.

4.1.5 Tiempos promedio de mantenimiento por luminaria.

El tiempo empleado en el cambio de los elementos de las luminarias es variable, dependiendo los elementos a sustituir; el tiempo empleado en los cambios tiene como referencia datos anteriores de los periodos de cambio realizados por los grupos de mantenimiento de la EERCS[8].

La tabla 4.7 muestra el tiempo empleado en el cambio de elementos de las luminarias de Na y el tiempo promedio de traslado al sitio de trabajo.

Tabla 4. 8 Tiempos establecidos para el cambio de elementos en las luminarias de Na.

Cambio de accesorios	Grupo	Minutos	
		Traslado	Trabajo
Luminaria			20
Bombilla	AP.		5
Inigtor	AP.		9
Balasto normal	AP.		10
Limpieza difusor	AP.		5
Balasto doble nivel	AP.		17
Capacitor reducido	AP.		14
Capacitor adicional	AP.		8
Fotocelula	AP.		4
		35	

Nota: Referencias de tiempo de trabajo de EERCS.

La tabla 4.8 muestra el tiempo empleado en el cambio del driver, limpieza del difusor y relé programable en luminarias de DNP, en el mantenimiento de una luminaria LED[25].

Tabla 4. 9 Tiempos establecidos para el cambio de elementos en luminarias LED.

Cambio de accesorios	Grupo	Minutos		Tiempo total
		Traslado	Trabajo	
Driver	AP.		17	17
Relé programable	AP.		12	12
Limpieza difusor	AP.		5	5
35				

Nota: Relación de tiempo de trabajo de EERCS

4.1.6 Tasa de crecimiento.

Determinado el plan de mantenimiento para 15 años en luminarias de sodio y 20 años para luminarias LED, se estima un crecimiento porcentual para el costo de la mano de obra y el costo de los materiales durante el tiempo estimado.

La tasa de crecimiento para la mano de obra se analizó de acuerdo al promedio del salario básico unificado en los últimos 6 años dentro del país, el valor obtenido se muestra en la tabla 4.9 a continuación [26].

Tabla 4. 10 Tasa de crecimiento de la mano de obra.

AÑO	USD	%
2014	340	
2015	354	4,12%
2016	366	3,39%
2017	375	2,46%
2018	386	2,93%
2019	394	2,07%
2020	400	1,52%
		2,75%

La tasa de crecimiento para materiales de construcción se analizó de acuerdo al promedio del índice porcentual de materiales en los últimos años 5 años según datos del INEN, el valor obtenido se aprecia en la tabla 4.10[27].

Tabla 4. 11 Tasa de crecimiento de materiales de construcción.

AÑOS	DICIEMBRE	
2014	237,86	%
2015	244,17	6,31
2016	234,63	-9,54
2017	235,65	1,02
2018	239,15	3,50
2019	243,90	4,75
		1,21

Según referencia del INEN, existen datos hasta el año 2019.

4.2 Metodología de cálculo.

4.2.1 Costo de mantenimiento preventivo de las luminarias.

Establecido el plan de mantenimiento para cada luminaria y establecidos los parámetros de cálculo, se determinó el costo de mantenimiento.

Obtenidos los precios de los elementos y la tasa de crecimiento de materiales se calculó el costo de cada uno de los accesorios a 15 años para sodio y 20 años para LED.

La tabla 4.11 muestra el costo de seis accesorios evaluados en cada año proyectado para luminarias de sodio.

Tabla 4. 12 Resultado de la proyección de los elementos de las luminarias de sodio a 15 años.

Luminaria 100 W SNP						Luminaria 150W DNP							Luminaria 250W DNP						
Tasa crecim 1,21 %						Tasa crecim 1,21 %							Tasa crecim 1,21 %						
Año	Materiales					Año	Materiales						Año	Materiales					
	Bombilla	Inigtor	Capacitor	Balasto	Fotocélula		Bombilla	Inigtor	Balasto	Capacitor	Fotocélula	Relé programable		Bombilla	Inigtor	Balasto	Capacitor	Fotocélula	Relé programable
0	8,96	5,80	2,22	8,90	6,20	0	9,02	5,80	10,00	3,10	6,20	27,00	0	9,52	5,80	15,00	4,00	6,20	27,00
1	9,07	5,87	2,25	9,01	6,28	1	9,13	5,87	10,12	3,14	6,28	27,33	1	9,64	5,87	15,18	4,05	6,28	27,33
2	9,18	5,94	2,27	9,12	6,35	2	9,24	5,94	10,24	3,18	6,35	27,66	2	9,75	5,94	15,37	4,10	6,35	27,66
3	9,29	6,01	2,30	9,23	6,43	3	9,35	6,01	10,37	3,21	6,43	27,99	3	9,87	6,01	15,55	4,15	6,43	27,99
4	9,40	6,09	2,33	9,34	6,51	4	9,46	6,09	10,49	3,25	6,51	28,33	4	9,99	6,09	15,74	4,20	6,51	28,33
5	9,52	6,16	2,36	9,45	6,58	5	9,58	6,16	10,62	3,29	6,58	28,67	5	10,11	6,16	15,93	4,25	6,58	28,67
6	9,63	6,23	2,39	9,57	6,66	6	9,69	6,23	10,75	3,33	6,66	29,02	6	10,23	6,23	16,12	4,30	6,66	29,02
7	9,75	6,31	2,41	9,68	6,74	7	9,81	6,31	10,88	3,37	6,74	29,37	7	10,36	6,31	16,32	4,35	6,74	29,37
8	9,86	6,39	2,44	9,80	6,83	8	9,93	6,39	11,01	3,41	6,83	29,73	8	10,48	6,39	16,52	4,40	6,83	29,73
9	9,98	6,46	2,47	9,92	6,91	9	10,05	6,46	11,14	3,45	6,91	30,09	9	10,61	6,46	16,71	4,46	6,91	30,09
10	10,11	6,54	2,50	10,04	6,99	10	10,17	6,54	11,28	3,50	6,99	30,45	10	10,74	6,54	16,92	4,51	6,99	30,45
11	10,23	6,62	2,53	10,16	7,08	11	10,30	6,62	11,41	3,54	7,08	30,82	11	10,87	6,62	17,12	4,57	7,08	30,82
12	10,35	6,70	2,56	10,28	7,16	12	10,42	6,70	11,55	3,58	7,16	31,19	12	11,00	6,70	17,33	4,62	7,16	31,19
13	10,48	6,78	2,60	10,41	7,25	13	10,55	6,78	11,69	3,62	7,25	31,57	13	11,13	6,78	17,54	4,68	7,25	31,57
14	10,60	6,86	2,63	10,53	7,34	14	10,67	6,86	11,83	3,67	7,34	31,95	14	11,27	6,86	17,75	4,73	7,34	31,95
15	10,73	6,95	2,66	10,66	7,43	15	10,80	6,95	11,98	3,71	7,43	32,34	15	11,40	6,95	17,97	4,79	7,43	32,34

Nota: El análisis de DNP a diferencia del SNP añade el relé programable en el mantenimiento.

En luminarias LED se realiza la misma proyección en el costo de dos materiales que se observan en la tabla 4.12.

Tabla 4. 13 Resultados de la proyección de los elementos de las luminarias LED en 20 años.

Luminaria LED 42 W SNP		Luminaria LED 94 W DNP			Luminaria LED 178 W DNP		
Tasa crecim 1,21		Tasa crecim 1,21 %			Tasa crecim 1,21 %		
Año	Materiales	Año	Materiales		Año	Materiales	
	Driver		Driver	Relé programa ble		Driver	Relé programa ble
0	16,80	0	32,00	27,00	0	40,80	27,00
1	17,00	1	32,39	27,33	1	41,29	27,33
2	17,21	2	32,78	27,66	2	41,79	27,66
3	17,42	3	33,17	27,99	3	42,30	27,99
4	17,63	4	33,57	28,33	4	42,81	28,33
5	17,84	5	33,98	28,67	5	43,32	28,67
6	18,06	6	34,39	29,02	6	43,85	29,02
7	18,27	7	34,81	29,37	7	44,38	29,37
8	18,49	8	35,23	29,72	8	44,91	29,72
9	18,72	9	35,65	30,08	9	45,46	30,08
10	18,94	10	36,08	30,44	10	46,01	30,44
11	19,17	11	36,52	30,81	11	46,56	30,81
12	19,40	12	36,96	31,18	12	47,12	31,18
13	19,64	13	37,41	31,56	13	47,69	31,56
14	19,88	14	37,86	31,94	14	48,27	31,94
15	20,12	15	38,32	32,33	15	48,85	32,33
16	20,36	16	38,78	32,72	16	49,44	32,72
17	20,60	17	39,25	33,11	17	50,04	33,11
18	20,85	18	39,72	33,51	18	50,64	33,51
19	21,11	19	40,20	33,92	19	51,26	33,92
20	21,36	20	40,69	34,33	20	51,87	34,33

Para luminarias de sodio se muestran dos tipos de mantenimiento; un mantenimiento parcial y un mantenimiento total. El mantenimiento parcial se realiza cada 4 años y se ejecuta el cambio de tres elementos para luminarias de SNP en un tiempo promedio de 23 minutos y cuatro elementos para luminarias de DNP con un tiempo promedio de 30 minutos.

El mantenimiento total realiza un cambio de elementos cada 8 años y ejecuta el cambio de cinco elementos para SNP en un tiempo aproximado de 55 minutos y seis elementos para DNP en un tiempo aproximado de 61 minutos.

La tabla 4.14 muestra el costo de mano de obra total por mantenimiento según el tiempo empleado en cada material sustituido.

Tabla 4. 14 Costo de mano de obra en luminarias de sodio según el tiempo empleado en las sustitución de materiales.

Luminaria Na SNP				Luminaria Na DNP			
Costo mano de obra parcial				Costo mano de obra parcial			
Traslado [min]	Mano de obra [min]	Costo de traslado [USD]	Costo mano de obra [USD]	Traslado [min]	Mano de obra [min]	Costo de traslado [USD]	Costo mano de obra [USD]
35	23	11,988	4,143833	35	30	11,99	5,41
Costo mano de obra total				Costo mano de obra total			
35	55	11,988	9,909167	35	61	11,99	10,99

En luminarias LED se emplea un tipo de mantenimiento, el cual realiza un cambio total de elementos; driver, limpieza de difusor y relé programable en caso de DNP cada 5 años. Para luminarias de SNP se emplea un tiempo promedio de 22 minutos, mientras que para DNP se emplea un tiempo promedio de 34 minutos.

La tabla 4.14 muestra el costo por mantenimiento en luminarias LED.

Tabla 4. 15 Costo de mano de obra en luminarias LED según el tiempo empleado en cambio de materiales.

Luminaria LED SNP				Luminaria LED DNP			
Costo mantenimiento total				Costo mantenimiento total			
Traslado [min]	Mano de obra [min]	Costo de traslado [USD]	Costo mano de obra [USD]	Traslado [min]	Mano de obra [min]	Costo de traslado [USD]	Costo mano de obra [USD]
35	22	11,988	3,96	35	34	11,99	6,125667

Obtenido el costo de mano de obra por mantenimiento parcial y total para luminarias de sodio en SNP y DNP, conjuntamente con la tasa de crecimiento de la mano de obra se proyectó el costo para 15 años.

La tabla 4.15 muestra el costo de la mano de obra en para mantenimiento parcial y total en las luminarias de SNP y DNP en cada año consecutivamente con la tasa de crecimiento del 2,75 %.

Tabla 4. 16 Costo de mano de obra prolongada a 15 años.

Costo mano de obra en 15 años			Costo mano de obra en 15 años		
Tasa crec	SNP	0,03	Tasa crec	DNP	0,03
	2,75%			2,75%	
Año	M.Parcial	M.Total	Año	M.Parcial	M.Total
0	4,14	9,91	0	5,41	10,99
1	4,26	10,18	1	5,55	11,29
2	4,37	10,46	2	5,71	11,60
3	4,50	10,75	3	5,86	11,92
4	4,62	11,04	4	6,02	12,25
5	4,75	11,35	5	6,19	12,59
6	4,88	11,66	6	6,36	12,93
7	5,01	11,98	7	6,53	13,29
8	5,15	12,31	8	6,71	13,65
9	5,29	12,65	9	6,90	14,03
10	5,43	13,00	10	7,09	14,41
11	5,58	13,35	11	7,28	14,81
12	5,74	13,72	12	7,48	15,22
13	5,90	14,10	13	7,69	15,64
14	6,06	14,49	14	7,90	16,07
15	6,22	14,88	15	8,12	16,51

De igual manera para luminarias LED se realizó el mismo análisis, se proyectó el valor actual de mantenimiento a 20 años, para luminarias de SNP y DNP.

La tabla 4.16 muestra el detalle del costo de mano de obra por cambio de elementos en cada año consecutivamente.

Tabla 4. 17 Costo de mano en luminarias LED prologada para 20 años.

CMO 20 años		CMO 20 años	
Tasa crec	SNP	Tasa crec	SNP
	2,75%		
Año	M.Total	Año	M.Total
0	3,96	0	6,13
1	4,07	1	6,29
2	4,18	2	6,47
3	4,30	3	6,64
4	4,42	4	6,83
5	4,54	5	7,02
6	4,66	6	7,21
7	4,79	7	7,41
8	4,92	8	7,61
9	5,06	9	7,82
10	5,20	10	8,03
11	5,34	11	8,25
12	5,49	12	8,48
13	5,64	13	8,72
14	5,79	14	8,95
15	5,95	15	9,20
16	6,12	16	9,45
17	6,29	17	9,71
18	6,46	18	9,98
19	6,64	19	10,26
20	6,82	20	10,54

Una vez obtenido el costo de mano de obra, costo de materiales y el costo de traslado por el grupo de trabajo y herramientas, se realizó un complemento que muestra el costo de mantenimiento por cada luminaria en los 4 y 12 años con mantenimiento parcial y a los 8 años mantenimiento total.

La tabla 4.17 muestra el costo de material, costo de mano de obra y costos generales el cual implica costo de traslado de los grupos y costo de herramientas, detallando el subtotal por cada año y el costo total de mantenimiento en los 15 años para luminarias de sodio en SNP y DNP.

Tabla 4. 18Costo de mantenimiento en luminarias de sodio de SNP y DNP.

LUMINARIAS NA											
LUMINARIA 100W SNP				LUMINARIA 150W DNP				LUMINARIA 250W DNP			
Costo de material	Costo mano obra	Costos generales	Subtotal	Costo de material	Costo mano obra	Costos generales	Subtotal	Costo de material	Costo mano obra	Costos generales	Subtotal
21,99	4,62	11,99	38,60	50,39	6,02	11,99	68,40	50,91	6,02	11,99	68,92
35,32	12,31	11,99	59,62	67,29	13,65	11,99	92,93	74,34	13,65	11,99	99,98
24,21	5,74	11,99	41,94	55,48	7,48	11,99	74,95	56,05	7,48	11,99	75,52
Total mant.	USD	140,16	Total mant.	USD	236,3	Total mant.	USD	244,43			

En luminarias LED se realizó un complemento que muestra el costo de mantenimiento por cada 5 años que se realiza un mantenimiento total.

La tabla 4.18 muestra el costo de material, costo de mano de obra y costos generales el cual implica costo de traslado de los grupos y costo de herramientas, detallando el subtotal por cada año y el costo total de mantenimiento en los 20 años para luminarias en SNP y DNP.

Tabla 4. 19 Costo de mantenimiento en luminarias LED de SNP Y DNP.

LUMINARIAS LED											
SNP				DNP							
LUMINARIA 42W				LUMINARIA 94 W				LUMINARIA 178 W			
Costo de material	Costo mano obra	Costos generales	Subtotal	Costo de material	Costo mano obra	Costos generales	Subtotal	Costo de material	Costo mano obra	Costos generales	Subtotal
17,84	4,54	11,988	22,38	62,65	7,02	11,99	81,65	72,00	7,02	11,99	91,00
18,94	5,20	11,988	24,14	66,53	8,03	11,99	86,55	76,45	8,03	11,99	96,47
20,12	5,95	11,988	26,07	70,64	9,20	11,99	91,83	81,18	9,20	11,99	102,37
Total mant.	USD	72,59	Total mant.	USD	260,03	Total mant.	USD	289,84			

Con los datos obtenidos del mantenimiento y el precio de la luminaria se muestra el total del costo de las luminarias en 15 años para sodio y 20 años para luminarias LED, dentro la inversión inicial se añade otro costo fijo en este caso el precio del brazo. La tabla 4.19 muestra el costo de mantenimiento más el costo de inversión en los 15 años en las luminarias de 100, 150 y 250 W de SNP y DNP.

Tabla 4. 20 Costo de inversión inicial de sodio en 15 años.

Luminarias de Na			
Costos 15 años	SNP	DNP	
	100 W	150 W	250 W
Inversión de la luminaria	\$ 144,76	\$ 174,01	\$ 223,60
Inversión del brazo	\$ 15,00	\$ 15,00	\$ 15,00
Total 1	\$ 159,76	\$ 189,01	\$ 238,60
Costo de mantenimiento	\$ 140,16	\$ 236,28	\$ 244,43
Total 2	\$ 140,16	\$ 236,28	\$ 244,43
Costo inver + mant.	\$ 299,92	\$ 425,29	\$ 483,03

Nota: El costo del brazo se obtiene del Departamento de Alumbrado Público de la EERCS.

La tabla 4.20 muestra el costo de mantenimiento más el costo de inversión en los 20 años según la vida útil en las luminarias de 42, 94 y 178 W de SNP y DNP.

Tabla 4. 21 Costo de la luminaria LED en 20 años.

Costo de una luminaria LED en 20 años			
Costos en 20 años	SNP	DNP	
	42 W	94 W	178 W
Inversión inicial	\$ 470,40	\$ 560,00	\$ 582,40
Inversión del brazo	\$ 15,00	\$ 15,00	\$ 15,00
Total 1	\$ 485,40	\$ 575,00	\$ 597,40
Costo de mantenimiento	\$ 72,59	\$ 260,03	\$ 289,84
Total 2	\$ 72,59	\$ 260,03	\$ 289,84
Costo inver + mant.	\$ 557,99	\$ 835,03	\$ 887,24

Nota: El costo del brazo se obtiene del Departamento de Alumbrado Público de la EERCS.

La tabla 4.21 muestra el costo de mantenimiento más el costo de inversión en los 15 años según el consumo de energía en las luminarias de 42, 94 y 178 W de SNP y DNP.

Tabla 4. 22 Costo de la luminaria LED en 15 años.

Costo de una luminaria LED en 15 años			
Costos en 15 años	SNP	DNP	
	42 W	94 W	178 W
Inversión inicial	\$ 470,40	\$ 560,00	\$ 582,40
Inversión del brazo	\$ 15,00	\$ 15,00	\$ 15,00
Total 1	\$ 485,40	\$ 575,00	\$ 597,40
Costo de mantenimiento	\$ 46,52	\$ 168,20	\$ 187,47
Total 2	\$ 46,52	\$ 168,20	\$ 187,47
Inversión total [USD]	\$ 531,92	\$ 743,20	\$ 784,87

Nota: El costo del brazo se obtiene del Departamento de Alumbrado Público de la EERCS.

Obtenidos el costo de las luminarias incluyendo el costo de mantenimiento que requiere en su vida útil, se calculó el costo de energía en los años establecidos.

Para el cálculo de la energía se consideró las pérdidas de las luminarias referidos en la Regulación 006/18 de Alumbrado Público del MERNNR, y se calculó el DNP en luminarias de sodio y luminarias LED.

4.1.2 Costo de energía consumida por las luminarias de vapor de sodio y LED.

Para determinar el costo de la energía en las luminarias de sodio de 100 W en SNP se consideró el 15 % de pérdidas de energía propias de la luminaria, mientras que en la luminaria LED de 48 W SNP se consideró 10 % de pérdidas de energía referidos por la Regulación 006/18 del ARCONEL. La tabla 4.22 muestra el costo de la energía consumida en un año por una luminaria, la misma que es prolongada a 15 años para sodio y 20 años para LED, establecido 0,10 ctvs. el precio kW/ hora en el año actual; el precio de la energía se mantiene para el periodo establecido debido a la incertidumbre que presenta para años futuros.

Tabla 4. 23 Costo de la energía consumida por luminaria de Na 100 W y luminaria LED de 48 W de SNP.

COSTO DE LA ENERGÍA					
Año	Luminaria de Na 100 W SNP			Luminaria LED 48 W SNP	
	Kw/hora	USD/kW	Costo [USD]	kW/hora LED	Costo [USD]
1 año	503,70	0,10	50,37	202,36	20,24
15 años	503,70	0,10	755,55	202,36	303,53
20 años		0,10		202,36	404,7

Para determinar el costo de la energía en las luminarias de sodio de 150 W en DNP se consideró el 13 % de pérdidas de energía propias de la luminaria, mientras que en la luminaria LED de 94 W SNP se consideró 10 % de pérdidas de energía según la Regulación 006/18 del ARCONEL[10]. La tabla 4.23 muestra el costo de la energía consumida en un año, prolongada a 15 años y 20 años correspondiente a la vida útil de cada luminaria.

Tabla 4. 24 Costo de la energía consumida por luminaria de Na de 150W y luminaria LED de 94W de DNP.

COSTO DE LA ENERGÍA					
Año	Luminaria de Na 150 W DNP			Luminaria LED 94 W DNP	
	Kw/hora	USD/kW	Costo [USD]	kW/hora	Costo [USD]
1 año	601,66	0,10	60,17	367,03	36,70
15 años	601,66	0,10	902,49	367,03	550,55
20 años		0,10		367,03	734,06

Para determinar el costo de la energía en las luminarias de sodio de 250 W en DNP se consideró el 12 % de pérdidas de energía propias de la luminaria, mientras que en la luminaria LED de 178 W DNP se consideró 10 % de pérdidas de energía

según la Regulación 006/18 del ARCONEL[10]. La tabla 4.24 muestra el costo de la energía consumida por las luminarias.

Tabla 4. 25 Costo de la energía consumida por luminaria de Na de 250W y luminaria LED de 178W DNP.

COSTO DE LA ENERGÍA					
Año	Luminaria de Na 250 W DNP			Luminaria LED 178 W DNP	
	Kw/hora	USD/kW	Costo [USD]	kW/hora	Costo [USD]
1 año	993,90	0,1	99,3895	695,02	69,50
15 años	993,90	0,1	1490,8425	695,02	1042,52
20 años		0,1		695,02	1390,03

4.2.2 Costo anual de las luminarias LED frente a las luminarias de vapor de sodio.

Determinados el costo de la luminaria, el mantenimiento y el costo de la energía para los dos tipos de luminaria. Se realizó un análisis entre las dos luminarias según la vida útil de las mismas y la energía consumida en el mismo período de tiempo para las dos luminarias. Se analizó costo anual de los tipos de luminarias, donde se muestra el costo anual según la vida útil de ambas luminarias y el costo anual por período de consumo de energía en 15 años. La tabla 4.25 muestra el costo en 15 años de las luminarias de sodio y el costo en 15 y 20 años de la luminaria LED.

Tabla 4. 26 Síntesis económico para el reemplazo de luminarias de sodio por luminarias LED.

Tipo de luminaria	Costos	Potencia		
		DNP		SNP
SODIO	Costos 15 años	250W	150W	100W
	Inversión + mant	\$ 483,03	\$ 425,29	\$ 299,92
	Energía	\$ 1.490,84	\$ 902,49	\$ 755,55
	Total 15 años	\$ 1.973,87	\$ 1.327,78	\$ 1.055,47
	Anual	\$ 131,59	\$ 88,52	\$ 70,36
LED	Costos 15 años	178W	94W	42W
	Inversión + mant	\$ 784,87	\$ 743,20	\$ 531,92
	Energía	\$ 1.042,52	\$ 550,55	\$ 303,53
	Total 15 años	\$ 1.827,39	\$ 1.293,75	\$ 835,45
	Anual	\$ 121,83	\$ 86,25	\$ 55,70
	Costos 20 años	178W	94W	42W
	Inversión + mant	\$ 887,24	\$ 835,03	\$ 557,99
	Energía	\$ 1.390,03	\$ 734,06	\$ 404,71
	Total 20 años	\$ 2.277,27	\$ 1.569,10	\$ 962,70
Anual	\$ 113,86	\$ 78,45	\$ 48,14	

4.2.3 Rentabilidad de la sustitución de luminarias de sodio por LED.

4.2.3.1 Luminaria de sodio de 250W y luminaria LED de 178 W.

Se determinó la rentabilidad del cambio de luminarias a través del análisis económico de los materiales y la mano de obra que interviene en las mismas, proyectado a 15 años (vida útil de luminaria de sodio), y el consumo de energía por cada luminaria en dicho período. La tabla 4.26 muestra un análisis detallado del estudio económico de la luminaria de 250 W de sodio y 178 W LED, mostrando el año en que la sustitución es rentable.

Tabla 4. 27 Evaluación financiera del proyecto luminarias Na 250W y luminarias LED 178W DNP.

Luminaria de Na 250W DNP					Luminaria LED 178W DNP					Año retomo
Descripción	Año	Costo inversión + costo mant.	Energía consumida	TOTAL	Descripción	Costo inversión + costo mant.	Energía consumida	TOTAL	VAN	TIR
Costo inicial	0	\$ 483,03	\$ -	\$ 483,03	Costo inicial	\$ 784,87	\$ -	\$ 784,87	\$ -301,84	0,62
	1	\$ 483,03	\$ 99,39	\$ 582,42		\$ 784,87	\$ 69,50	\$ 854,37	\$ -271,95	0,68
	2	\$ 483,03	\$ 198,78	\$ 681,81		\$ 784,87	\$ 139,00	\$ 923,87	\$ -242,06	0,74
	3	\$ 483,03	\$ 298,17	\$ 781,20		\$ 784,87	\$ 208,50	\$ 993,37	\$ -212,17	0,79
1er mant.	4	\$ 551,95	\$ 397,56	\$ 949,51	1er mant.	\$ 784,87	\$ 278,00	\$ 1.062,87	\$ -113,36	0,89
	5	\$ 551,95	\$ 496,95	\$ 1.048,90		\$ 875,87	\$ 347,50	\$ 1.223,37	\$ -174,47	0,86
	6	\$ 551,95	\$ 596,34	\$ 1.148,29		\$ 875,87	\$ 417,00	\$ 1.292,87	\$ -144,58	0,89
2do mant.	7	\$ 551,95	\$ 695,73	\$ 1.247,68	2do mant.	\$ 875,87	\$ 486,50	\$ 1.362,37	\$ -114,69	0,92
	8	\$ 651,93	\$ 795,12	\$ 1.447,05		\$ 875,87	\$ 556,00	\$ 1.431,87	\$ 15,18	1,01
	9	\$ 651,93	\$ 894,51	\$ 1.546,44		\$ 875,87	\$ 625,50	\$ 1.501,37	\$ 45,07	1,03
	10	\$ 651,93	\$ 993,90	\$ 1.645,83		\$ 972,34	\$ 695,00	\$ 1.667,34	\$ -21,51	0,99
3er mant.	11	\$ 651,93	\$ 1.093,29	\$ 1.745,22	3er mant.	\$ 972,34	\$ 764,50	\$ 1.736,84	\$ 8,38	1,00
	12	\$ 727,46	\$ 1.192,68	\$ 1.920,14		\$ 972,34	\$ 834,00	\$ 1.806,34	\$ 113,80	1,06
	13	\$ 727,46	\$ 1.292,07	\$ 2.019,53		\$ 972,34	\$ 903,50	\$ 1.875,84	\$ 143,69	1,08
	14	\$ 727,46	\$ 1.391,46	\$ 2.118,92		\$ 972,34	\$ 973,00	\$ 1.945,34	\$ 173,58	1,09
	15	\$ 727,46	\$ 1.490,85	\$ 2.218,31		\$ 972,34	\$ 1.042,50	\$ 2.014,84	\$ 203,47	1,10
TOTAL		\$ 9.657,47	\$ 11.926,80	\$ 21.584,27		\$ 14.137,73	\$ 8.340,00	\$ 22.477,73	RBC	0,92

Los resultados de la evaluación financiera en luminarias sodio, muestra que la inversión inicial y componente de mantenimiento en el que incluye los materiales y la mano de obra en los 15 años, nos da un valor de USD 727,46. Entre tanto para el costo por la energía consumida nos da un valor de USD 1490,85. Por lo que tenemos un valor total de inversión en los 15 años de USD 2218,31.

El análisis para luminarias LED registra un valor de USD 972,34 en costos de mantenimiento sumada mano de obra e inversión inicial, para el costo de la energía consumida un valor de USD 1042,52. Lo que nos da un valor total de inversión de

USD 2014,84. En relación al TIR, el año 11 muestra un valor de 1,00, el cuál determina el año en que se comienza a recuperar la inversión.

Para determinar el VAN del proyecto se realizó un análisis comparativo entre ambas luminarias, determinando la diferencia porcentual y monetaria entre ellas. La tabla 4.27 presenta los resultados del análisis financiero.

Tabla 4. 28 Tabla comparativa de inversión entre luminarias Na de 250 W y LED de 178 W.

Tabla comparativa entre luminarias.				
Costos 15 años	Vapor de sodio	LED	Diferencia	%
Costo de inversión y mano de obra	\$ 9.657,47	\$ 14.137,73	\$ -4.480,25	62,90
Costo de energía	\$ 11.926,80	\$ 8.340,00	\$ 3.586,80	37,10
Total	\$ 21.584,27	\$ 22.477,73	\$ -893,45	-25,79

Se puede observar, el proyecto con las condiciones establecidas dentro del análisis muestra; un ahorro del 29 % aproximadamente en potencia instalada; con relación a los precios de inversión, accesorios, tiempos de mantenimiento y costo de energía nos da como resultado final de la sustitución de luminarias de 250 W de sodio por luminaria de 178 W un VAN NEGATIVO de USD -893,45 para los 15 años de proyección. En relación con los costos de inversión muestra un valor (-) debido a la inversión inicial del proyecto (costo luminaria) en USD -4480,25. Financieramente muestra que el proyecto **NO ES RENTABLE** para los 15 años de horizonte, más bien resulta una inversión global mayor de un 25,79 %, esto debido principalmente a los altos costos iniciales de compra de los equipos led.

Con fundamentos en los resultados, se considera un análisis de sensibilidad financiera en relación de sus costos y consumo de energía. La tabla 4.28 muestra el análisis de la sensibilidad financiera mostrando el costo de la inversión inicial y el costo de la energía porcentuales de su valor, y la reducción de la potencia instalada en los mismos porcentajes[25].

Tabla 4. 29 Sensibilidad financiera del cambio de luminaria de 178 W LED.

Luminaria LED 178 W DNP					
VAN		\$ -893,45	Reducción al consumo de la energía		
Relación actual		Potencia	0%	10%	20%
			178	160,2	142,4
Reducción del costo de la luminaria LED	0%	\$ 582,40	\$ -893,45	\$ -150,35	\$ 586,35
	10%	\$ 524,16	\$ 38,39	\$ 775,09	\$ 1.511,79
	20%	\$ 465,92	\$ 970,23	\$ 1.706,93	\$ 2.443,63

Como conclusión del análisis de sensibilidad podemos mencionar que el proyecto tiene mejores rendimientos financieros con el costo inicial de la luminaria (USD 38,39 Vs USD -150,35) que el costo de energía.

Mostrando los resultados siguientes: Se puede mencionar que el proyecto sería **RENTABLE** si el precio de las luminarias disminuyera un 10% .

4.2.3.2 Luminaria de sodio de 150 W y luminaria LED de 94 W.

De igual manera para las luminarias de 150 W de sodio y 94 W LED se determinó la rentabilidad a través del análisis económico de los materiales y la mano de obra que interviene en las mismas, proyectado a 15 años (vida útil de luminaria de sodio), y el consumo de energía por cada luminaria en dicho período. La tabla 4.29 muestra la evaluación financiera en el periodo determinado y el año de retorno del proyecto.

Tabla 4. 30 Evaluación financiera del proyecto luminarias Na 150W y luminarias LED 94 W DNP.

Luminaria de Na 150W DNP					Luminaria LED 94 W DNP				VAN	Año retorno
Descripción	Año	Costo inversión + costo mant.	Energía consumida	TOTAL	Descripción	Costo inversión + costo mant.	Energía consumida	TOTAL		
Costo inicial	0	\$ 425,29	\$ -	\$ 425,29	Costo inicial	\$ 758,20	\$ -	\$ 758,20	\$ -332,91	0,56
	1	\$ 425,29	\$ 60,17	\$ 485,46		\$ 758,20	\$ 36,70	\$ 794,90	\$ -309,44	0,61
	2	\$ 425,29	\$ 120,34	\$ 545,63		\$ 758,20	\$ 73,40	\$ 831,60	\$ -285,97	0,66
	3	\$ 425,29	\$ 180,51	\$ 605,80		\$ 758,20	\$ 110,10	\$ 868,30	\$ -262,50	0,70
1er mant.	4	\$ 493,69	\$ 240,68	\$ 734,37	1er mant.	\$ 758,20	\$ 146,80	\$ 905,00	\$ -170,63	0,81
	5	\$ 493,69	\$ 300,85	\$ 794,54		\$ 839,86	\$ 183,50	\$ 1.023,36	\$ -228,82	0,78
	6	\$ 493,69	\$ 361,02	\$ 854,71		\$ 839,86	\$ 220,20	\$ 1.060,06	\$ -205,35	0,81
	7	\$ 493,69	\$ 421,19	\$ 914,88		\$ 839,86	\$ 256,90	\$ 1.096,76	\$ -181,88	0,83
2do mant.	8	\$ 586,62	\$ 481,36	\$ 1.067,98	2do mant.	\$ 839,86	\$ 293,60	\$ 1.133,46	\$ -65,47	0,94
	9	\$ 586,62	\$ 541,53	\$ 1.128,15		\$ 839,86	\$ 330,30	\$ 1.170,16	\$ -42,00	0,96
	10	\$ 586,62	\$ 601,70	\$ 1.188,32		\$ 926,41	\$ 367,00	\$ 1.293,41	\$ -105,08	0,92
	11	\$ 586,62	\$ 661,87	\$ 1.248,49		\$ 926,41	\$ 403,70	\$ 1.330,11	\$ -81,61	0,94
3er mant.	12	\$ 661,57	\$ 722,04	\$ 1.383,61	3er mant.	\$ 926,41	\$ 440,40	\$ 1.366,81	\$ 16,80	1,01
	13	\$ 661,57	\$ 782,21	\$ 1.443,78		\$ 926,41	\$ 477,10	\$ 1.403,51	\$ 40,27	1,03
	14	\$ 661,57	\$ 842,38	\$ 1.503,95		\$ 926,41	\$ 513,80	\$ 1.440,21	\$ 63,74	1,04
	15	\$ 661,57	\$ 902,55	\$ 1.564,12		\$ 926,41	\$ 550,50	\$ 1.476,91	\$ 87,21	1,06
TOTAL		\$ 8.668,68	\$ 7.220,40	\$15.889,08		\$ 13.548,72	\$ 4.404,00	\$ 17.952,72	RBC	0,85

Los resultados de la evaluación financiera en luminarias sodio, muestra que la inversión inicial y componente de mantenimiento en el que incluye los materiales y la mano de obra en los 15 años, nos da un valor de USD 661,57. Entre tanto para el costo por la energía consumida nos da un valor de USD 902,55. Por lo que tenemos un valor total de inversión en los 15 años de USD 1564,12.

El análisis para luminarias LED registra un valor de USD 926,41 en costos de mantenimiento sumada mano de obra e inversión inicial, para el costo de la energía consumida un valor de USD 550,50. Lo que nos da un valor total de inversión de USD 1476,91. En relación al TIR, el año 12 muestra un valor de 1,01, el cuál determina el año en que se comienza a recuperar la inversión.

Para determinar el VAN del proyecto se realizó un análisis comparativo entre ambas luminarias, determinando la diferencia porcentual y monetaria entre ellas. La tabla 4.30 presenta el análisis resultante del análisis financiero.

Tabla 4. 31 Tabla comparativa de inversión entre luminarias Na de 150 W y LED de 94 W.

Tabla comparativa entre luminarias.				
Costos 15 años	Vapor de sodio	LED	Diferencia	%
Costo de inversión y mano de obra	\$ 8.668,68	\$ 13.548,72	\$ -4.880,05	75,47
Costo de energía	\$ 7.220,40	\$ 4.404,00	\$ 2.816,40	24,53
Total	\$ 15.889,08	\$ 17.952,72	\$ -2.063,65	50,94

Se puede observar, el proyecto con las condiciones establecidas dentro del análisis muestra; un ahorro del 37 % aproximadamente en potencia instalada; con relación a los precios de inversión, accesorios, tiempos de mantenimiento y costo de energía nos da como resultado final de la sustitución de luminarias de 150 W de sodio por luminaria de 94 W un VAN negativo de USD -2063,65 para los 15 años de proyección. En relación con los costos de inversión muestra un valor (-) debido a la inversión inicial del proyecto (costo luminaria) en USD -4880,05. Mostrando los resultados siguientes: Se puede mencionar que el proyecto **NO ES RENTABLE** al término de los 15 años.

Con fundamentos en los resultados, se considera un análisis de sensibilidad financiera en relación de sus costos y consumo de energía. La tabla 4.31 muestra el análisis de la sensibilidad financiera mostrando el costo de la inversión inicial y el costo de la energía porcentuales de su valor, y la reducción de la potencia instalada en los mismos porcentajes.

Tabla 4. 32 Sensibilidad financiera del cambio de luminaria de 94 W LED

Luminaria LED 94 W DNP					
		Reducción al consumo de la energía			
VAN	\$ -2.063,65		0%	10%	20%
Relación actual		Potencia	94	84,6	75,2
Reducción del costo de la luminaria LED	0%	\$ 575,00	\$-2.063,65	\$ -1.623,25	\$ -1.182,85
	10%	\$ 517,50	\$-1.143,65	\$ -703,25	\$ -262,85
	20%	\$ 460,00	\$ -223,65	\$ -216,75	\$ 657,15
	30%	\$ 402,50	\$ 696,35	\$ 1.136,75	\$ 1.577,15

Como conclusión del análisis de sensibilidad podemos mencionar que el proyecto tiene mejores rendimientos económicos en costo de la inversión inicial (USD 696,35 Vs USD -1182,85) que el costo de la energía.

Mostrando los resultados siguientes: Se puede mencionar que el proyecto sería **RENTABLE** si el precio de las luminarias disminuyera un 30% .

4.2.3.3 Luminaria de sodio de 100 W y luminaria LED de 42 W.

Para las luminarias de 100 W de sodio y 42 W LED se determinó la rentabilidad a través del análisis económico de los materiales y la mano de obra que interviene en las mismas, proyectado a 15 años (vida útil de luminaria de sodio), y el consumo de energía por cada luminaria en dicho período. La tabla 4.32 muestra la evaluación financiera en el periodo determinado y el año de retorno del proyecto.

Tabla 4. 33 Evaluación financiera del proyecto luminarias Na 100W y luminarias LED 42 W DNP.

Luminaria de Na 100W DNP					Luminaria LED 42 W DNP					Año retorm
Descripción	Año	Costo inversión + costo mant.	Energía consumida	TOTAL	Descripción	Costo inversión + costo mant.	Energía consumida	TOTAL	VAN	TIR
Costo inicial	0	\$ 299,92	\$ -	\$ 299,92	Costo inicial	\$ 531,92	\$ -	\$ 531,92	\$ -232,00	0,56
	1	\$ 299,92	\$ 50,37	\$ 350,29		\$ 531,92	\$ 20,24	\$ 552,16	\$ -201,87	0,63
	2	\$ 299,92	\$ 100,74	\$ 400,66		\$ 531,92	\$ 40,48	\$ 572,40	\$ -171,74	0,70
	3	\$ 299,92	\$ 151,11	\$ 451,03		\$ 531,92	\$ 60,72	\$ 592,64	\$ -141,61	0,76
1er mant.	4	\$ 338,52	\$ 201,48	\$ 540,00	1er mant.	\$ 531,92	\$ 80,96	\$ 612,88	\$ -72,89	0,88
	5	\$ 338,52	\$ 251,85	\$ 590,37		\$ 554,30	\$ 101,20	\$ 655,50	\$ -65,13	0,90
	6	\$ 338,52	\$ 302,22	\$ 640,74		\$ 554,30	\$ 121,44	\$ 675,74	\$ -35,00	0,95
	7	\$ 338,52	\$ 352,59	\$ 691,11		\$ 554,30	\$ 141,68	\$ 695,98	\$ -4,87	0,99
2do mant.	8	\$ 398,13	\$ 402,96	\$ 801,09	2do mant.	\$ 554,30	\$ 161,92	\$ 716,22	\$ 84,87	1,12
	9	\$ 398,13	\$ 453,33	\$ 851,46		\$ 554,30	\$ 182,16	\$ 736,46	\$ 115,00	1,16
	10	\$ 398,13	\$ 503,70	\$ 901,83		\$ 578,44	\$ 202,40	\$ 780,84	\$ 120,99	1,15
	11	\$ 398,13	\$ 554,07	\$ 952,20		\$ 578,44	\$ 222,64	\$ 801,08	\$ 151,12	1,19
3er mant.	12	\$ 440,07	\$ 604,44	\$ 1.044,51	3er mant.	\$ 578,44	\$ 242,88	\$ 821,32	\$ 223,19	1,27
	13	\$ 440,07	\$ 654,81	\$ 1.094,88		\$ 578,44	\$ 263,12	\$ 841,56	\$ 253,32	1,30
	14	\$ 440,07	\$ 705,18	\$ 1.145,25		\$ 578,44	\$ 283,36	\$ 861,80	\$ 283,45	1,33
	15	\$ 440,07	\$ 755,55	\$ 1.195,62		\$ 578,44	\$ 303,60	\$ 882,04	\$ 313,58	1,36
TOTAL		\$ 5.906,56	\$ 6.044,40	\$11.950,96		\$ 8.901,75	\$ 2.428,80	\$ 11.330,55	RBC	1,02

Los resultados de la evaluación financiera en luminarias sodio, muestra que la inversión inicial y componente de mantenimiento en el que incluye los materiales y la mano de obra en los 15 años, nos da un valor de USD 440,07. Entre tanto para el costo por la energía consumida nos da un valor de USD 755,55. Por lo que tenemos un valor total de inversión en los 15 años de USD 1195,62.

El análisis para luminarias LED registra un valor de USD 578,44 en costos de mantenimiento sumada mano de obra e inversión inicial, para el costo de la energía consumida un valor de USD 303,60. Lo que nos da un valor total de inversión de USD 882,04. En relación al TIR, el año 8 muestra un valor de 1,12, el cuál determina el año en que se comienza a recuperar la inversión.

Para determinar el VAN del proyecto se realizó un análisis comparativo entre ambas luminarias, determinando la diferencia porcentual y monetaria entre ellas. La tabla 4.33 presenta el análisis resultante del análisis financiero.

Tabla 4. 34 Tabla comparativa de inversión entre luminarias Na de 100 W y LED de 42 W.

Tabla comparativa entre luminarias.				
Costos 15 años	Vapor de sodio	LED	Diferencia	%
Costo de inversión y mano de obra	\$ 5.906,56	\$ 8.901,75	\$ -2.995,20	78,56
Costo de energía	\$ 6.044,40	\$ 2.428,80	\$ 3.615,60	21,44
Total	\$ 11.950,96	\$ 11.330,55	\$ 620,40	57,13

Se puede observar, el proyecto con las condiciones establecidas dentro del análisis muestra; un ahorro del 57 % aproximadamente en potencia instalada; con relación a los precios de inversión, accesorios, tiempos de mantenimiento y costo de energía nos da como resultado final de la sustitución de luminarias de 100 W de sodio por luminaria de 94 W un VAN positivo de USD 620,40 para los 15 años de proyección. En relación con los costos de inversión muestra un valor (-) debido a la inversión inicial del proyecto (costo luminaria) en USD -2995,20

Con fundamentos en los resultados, se considera un análisis de sensibilidad financiera en relación de sus costos y consumo de energía. La tabla 4.34 muestra el análisis de la sensibilidad financiera mostrando el costo de la inversión inicial y el costo de la energía porcentuales de su valor, y la reducción de la potencia instalada en los mismos porcentajes.

Tabla 4. 35 Sensibilidad financiera del cambio de luminaria de 42 W LED

Luminaria LED 42 W DNP					
		Reducción al consumo de la energía			
VAN	\$ 620,40		0%	10%	20%
Relación actual		Potencia	42	37,8	33,6
Reducción del costo de la luminaria LED	0%	\$ 470,40	\$ 620,40	\$ 864,00	\$ 1.106,40
	10%	\$ 423,36	\$ 1.373,04	\$ 1.616,64	\$ 1.859,04
	20%	\$ 376,32	\$ 2.125,68	\$ 2.369,28	\$ 2.611,68

Como conclusión del análisis de sensibilidad podemos mencionar que el proyecto tiene mejores rendimientos económicos en costo de la inversión inicial (USD 2125,68 Vs USD 1106,40) que el costo de la energía.

Mostrando los resultados siguientes: Se puede mencionar que el proyecto **ES RENTABLE** al término de los 15 años, a pesar que existe mayor influencia en el costo de la luminaria LED.

Conclusiones del capítulo.

El costo de reponer una luminaria de Na por una luminaria LED, se considera el resultado de parámetros económicos como; costo inicial, costo del brazo, costo de mantenimiento (interviene costo de mano de obra, costo de materiales, movilización) y el costo del consumo de la energía.

Considerando las condiciones actuales del país; el costo de la energía, los aranceles y la inflación tanto en la mano de obra como en los materiales, la sustitución de luminarias Na de 250 W por LED de 178 W muestra un ahorro anual del 7% entre costo de energía, mantenimiento y costo de inversión inicial comparando con las de Na; manifestando una mayor incidencia en el costo de la energía consumida. A partir del segundo trimestre del año 11 se genera un retorno positivo de la inversión, sin embargo se obtiene un VAN negativo resultante de \$-893,45 mostrando que la sustitución no es rentable.

La sustitución de luminarias Na de 150 W por LED de 94 W muestra un ahorro anual del 2,56% entre costo de energía, mantenimiento y costo de inversión inicial comparando con las de Na; manifestando una mayor incidencia en el costo de la energía consumida. A partir del segundo trimestre del año 12 se genera un retorno positivo de la inversión, sin embargo se obtiene un VAN negativo resultante de \$ - 2063,65 mostrando que la sustitución no es rentable.

La sustitución de luminarias Na de 100 W por LED de 42 W muestra un ahorro anual del 20% entre costo de energía, mantenimiento y costo de inversión inicial comparando con las de Na; manifestando una mayor incidencia en el costo de la energía consumida. A partir del segundo trimestre del año 8 se genera un retorno positivo de la inversión, sin embargo se obtiene un VAN positivo resultante de \$620,40 mostrando que la sustitución es rentable.

La rentabilidad por luminaria LED en los últimos 5 años a disminuido un 40 %, y los niveles de eficiencia han mejorado un 11 %, tomando como referencia el precio y la eficiencia por luminaria del 2015[29].

Tras el análisis de sensibilidad, el proyecto muestra mejores resultados si el costo de la luminaria LED disminuyera un 10% en relación al costo actual para el

reemplazo de luminarias de 250 W y disminuyera un 30% en relación al costo actual para el reemplazo de luminarias de 150 W con lo cual se incrementaría los beneficios del reemplazo (retorno de la inversión temprana y ahorro de la potencia instalada).

*“Las raíces de la educación son amargas,
pero la fruta es dulce”*

Aristóteles.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

Tras realizar el análisis técnico dentro del presente estudio, se pudo determinar que los parámetros fotométricos que muestran las luminarias de vapor de sodio instaladas actualmente en la zona urbana de la Ciudad de Cuenca, pueden ser reemplazadas por luminarias LED de menor potencia, conservando o mejorando minimamente los niveles de iluminación actuales.

La propuesta de cambio de las luminarias de vapor de sodio de 250 W, a una potencia de 178 W tipo LED conllevaría a un ahorro económico anual del 7 % entre costo de energía, mantenimiento y costo de inversión inicial, teniendo una mayor incidencia de ahorro el costo de la energía consumida. La sustitución de la luminaria LED frente a la de sodio muestra un retorno positivo de la inversión de USD 8,38 a partir del segundo trimestre del año 11, sin embargo el análisis del VAN para los 15 años de proyección del estudio muestra un resultado negativo, teniendo una mayor incidencia económica el costo inicial de la luminaria LED, por lo que se determina que la sustitución, no sería rentable. El análisis técnico propuesto determina un ahorro de potencia del 30 % en la luminaria LED frente a la de vapor de sodio instalada actualmente.

La propuesta de cambio de las luminarias de vapor de sodio de 150 W, a una potencia de 94 W tipo LED conllevaría a un ahorro económico anual del 2,56 % entre costo de energía, mantenimiento y costo de inversión inicial frente a las de sodio, teniendo una mayor incidencia de ahorro en el costo de la energía consumida. La sustitución de la luminaria LED frente a la de sodio muestra un retorno positivo de la inversión de USD 16,80 a partir del segundo trimestre del año 12, sin embargo el

análisis del VAN para los 15 años de proyección del estudio muestra un resultado negativo, teniendo una mayor incidencia económica el costo inicial de la luminaria LED, por lo que se determina que la sustitución, no sería rentable. El análisis técnico propuesto determina un ahorro de potencia del 38 % en la luminaria LED frente a la de vapor de sodio instalada actualmente.

La propuesta de cambio de las luminarias de vapor de sodio de 100 W, a una potencia de 42 W tipo LED conllevaría a un ahorro económico anual del 20 % entre costo de energía, mantenimiento y costo de inversión inicial frente a las de sodio, teniendo una mayor incidencia de ahorro el costo de la energía consumida. La sustitución de la luminaria LED frente a la de sodio muestra un retorno positivo de la inversión de USD 84,87 a partir del segundo trimestre del año 8, el análisis del VAN para los 15 años de proyección del estudio muestra un resultado positivo, teniendo una mayor incidencia económica en el costo de la energía consumida de la luminaria LED, por lo que se determina que la sustitución, sería rentable. El análisis técnico propuesto determina un ahorro de potencia del 59 % en la luminaria LED frente a la de vapor de sodio instalada actualmente.

El análisis económico propuesto determina la rentabilidad de cada caso según la potencia de cada luminaria, en donde la sustitución de luminarias de 250 W y 150 W de vapor de sodio, no es rentable; mientras que en el caso de la sustitución de luminarias de 100 W, sería factible con un retorno de inversión desde el segundo trimestre del año 8.

Las luminarias LED han tenido un avance tecnológico considerable en los últimos cinco años, y una disminución en su costo del 35 % al 40 % aproximadamente, tomando como referencia lo indicado en el estudio “Eficiencia energética en el servicio de Alumbrado Público del Ecuador”[29].

Tras el análisis de sensibilidad financiera de las luminarias LED, muestra que se podría reemplazar las luminarias de 250W si el costo de la luminaria disminuyera el 10 % del costo actual de las luminarias, y para las luminarias de 150W si el costo de la luminaria disminuyera el 30 % del costo actual de las luminarias.

Cuenca es un caso especial a nivel país, ya que la mayor parte de iluminación de vías superan los niveles de iluminación referidos en la Regulación 006/18, por lo

que para la simulación de las luminarias LED y las de sodio se considero datos reales de las instalaciones actuales, tanto en: altura de montaje, distancia entre postes, distancia del brazo, distancia del mástil a la calzada, factor de mantenimiento, ancho de vía y tipo de disposición.

El tipo de luminarias tomadas para simulación fueron obtenidas del mercado local y de la web donde, la existencia de luminarias LED con mejores prestaciones faculta la posibilidad de un uso adecuado con aquellas que su análisis no se ha sido efectuado.

5.2 Recomendaciones.

Se plantea que se elabore un proyecto piloto, donde se verifiquen los temas expuestos dentro del estudio, para realizar pruebas en campo de la sustitución de las luminarias LED en base al modelo propuesto para obtener a ciencia cierta datos reales de la implementación (medición de Luminancia, Iluminancia, vida útil de los componentes, depreciación de flujo y falla de componentes y equipos), como también para plantear un plan de mantenimiento.

Efectuar un análisis técnico – económico antes de la implementación del proyecto piloto, para determinar la utilidad de realizar el cambio propuesto de sustitución.

Recopilar información del costo de las luminarias LED anualmente y realizar una base de datos que permita actualizar, si el costo en el que se encuentra la luminaria es accesible, para poder realizar la sustitución.

De realizarse el cambio de luminarias, se recomienda ejecutar un análisis ambiental del impacto ecológico que causaría los componentes y equipos que son desechables (balasto, ignitores, capacitores, fotocélula, bombillas, carcasa, entre otros), y un análisis sobre la polución lumínica que generaría este nuevo sistema.

Realizar un análisis comparativo entre los arranques de las luminarias LED frente a los arranques de las luminarias de vapor de sodio, y analizar como el funcionamiento de esta nueva tecnología puede afectar a la red existente, así como los

múltiples problemas que pueden sucitarse al realizar una sustitución total de las luminarias (sobrecorrientes, caídas de tensión, armónicos, sistemas de protección, etc).

Analizar los equipos a sustituir en laboratorios acreditados, para determinar y comprobar los parámetros eléctricos y fotométricos ofertados por los distribuidores; y que la documentación entregada por el oferente, esté debidamente certificada.

Se recomienda incetivar a las instituciones educativas a la investigación de nuevos estudios acerca de las nuevas tecnologías para alumbrado público con mejores prestaciones de servicio.

REFERENCIAS.

- [1] P. C. Acuña, “Impacto del Alumbrado Publico con LEDs en la Red de Distribución Paula Catalina Acuña,” 2011.
- [2] D. E. A. Exterior, “PARA LUMINARIAS CON TECNOLOGÍA LED.”
- [3] I. Pública and E. N. Antioquia, “No Title,” pp. 1–114, 2009.
- [4] G. Durán, “Informe Eficiencia Energética AP Bga,” 2015.
- [5] I. D. E. Sustento, “SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL »,” 2018.
- [6] L. A. C. D. E. Cuenca, “UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ciencias Químicas Maestría en Planificación y Gestión Energéticas,” 2013.
- [7] D. E. Cuenca, F. Mauricio, and M. Zhunio, “Universidad de Cuenca.”
- [8] EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTRO SUR, “Información del depatamento de Alumbrado Público.” 2018.
- [9] L. Leonardo, C. Auqui, I. Fabián, and G. Cabrera, “Facultad de Ingeniería Autores,” pp. 1–158, 2015.
- [10] ARCONEL, “Prestación del Servicio de Alumbrado Público General.” Ecuador, 2015.
- [11] C. de la R. del Ecuador., “Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069.” .
- [12] "RETILAP ", “Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado,” pp. 1–258.
- [13] Galo Andres Flores Fueres, “Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando luminarias led y alimentación solar fotovoltaica,” *UPS*. pp. 5–7, 2016.
- [14] A. Salamea, F. Patricio, M. Novillo, and A. Sebastián, “Optimización de

- transformadores en función de su perfil y crecimiento de la demanda,” 2016.
- [15] T. D. E. I. Eléctrico, L. Israel, and C. Franco, *Gestión de mantenimiento para el alumbrado público del centro urbano de la ciudad de Cuenca*. 2017.
- [16] F. Patricio and G. Delgado, “Mas de alumbrado publico.”
- [17] E. L. Sistema and D. E. T. Y. Telegestión, “Sistemas de gestión del alumbrado vial Sistemas de gestión del alumbrado vial Sistema de control y telegestión.”
- [18] “Estudio de lámparas led para alumbrado público y diseño de un sistema scada con control automático on/off.”
- [19] E. Universitaria and D. C. Empresariales, ““ PROYECTO DE MEJORA DE LA ILUMINACION” 2014.
- [20] B. Alumbrado and P. Y. Urbano, “Bloque 4 alumbrado público y urbano 4.1,” pp. 135–184.
- [21] C. Augusto and B. Cardona, “Public Light Emitting Diode,” 2015.
- [22] C. Restaurant and E. Unidos, “Publicación de la Asociación Argentina de Luminotecnia Edición N° 123 Julio/Agosto 2014,” 2014.
- [23] D. D. E. Trabajo, “Orientación sobre la metodología para realizar análisis costes-beneficios,” 2013.
- [24] MEER, “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN,” 2018.
- [25] “Maestría en sistemas eléctricos de potencia,” "Iván Patricio Genovez."2 “Eficiencia energética en el servicio de Alumbrado Público del Ecuador” 2015.
- [26] “Revistagestion.ec,” *Los salarios son un tema de discusión entre los empresarios*. [Online]. Available: <https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis>.
- [27] S. E. de N. INEN, [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/>.

Interpolación cuadrática

Proyecto

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 : °
 Tipo : Protector :
 Reflector : Configuración : 
 Fuente : Potencia : W Flujo : klm FM :

Resumen

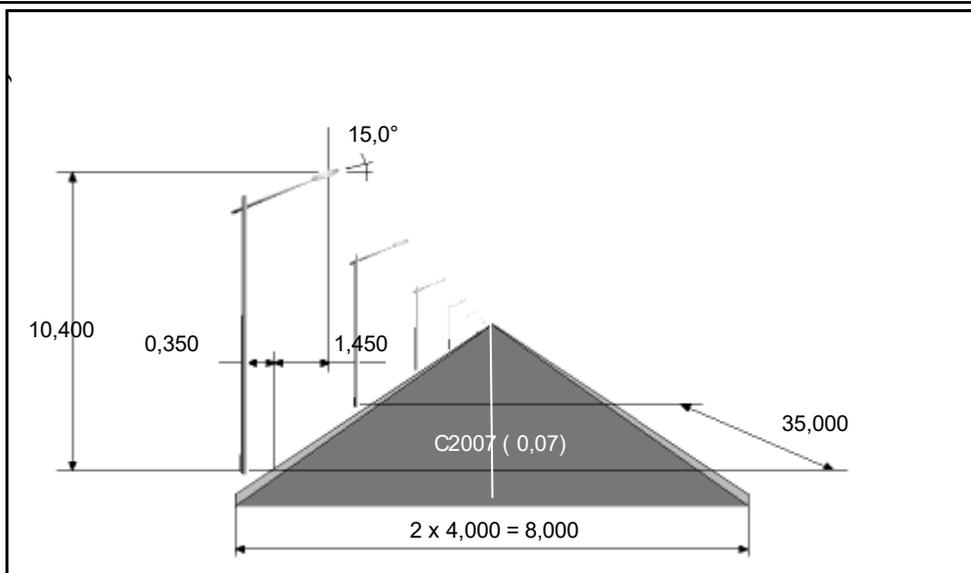
● Luminancia

	1	2	
Obs Y	<input type="text" value="2,000"/>	<input type="text" value="6,000"/>	m
Lmed	<input type="text" value="2,61"/>	<input type="text" value="2,42"/>	cd/m ²
Uo	<input type="text" value="57,6"/>	<input type="text" value="57,8"/>	%
Ul	<input type="text" value="74,4"/>	<input type="text" value="57,9"/>	%
TI	<input type="text" value="11,0"/>		%
Posición del	<input type="text" value="7,608; 6,000; 1,500"/>		m

● Iluminancia

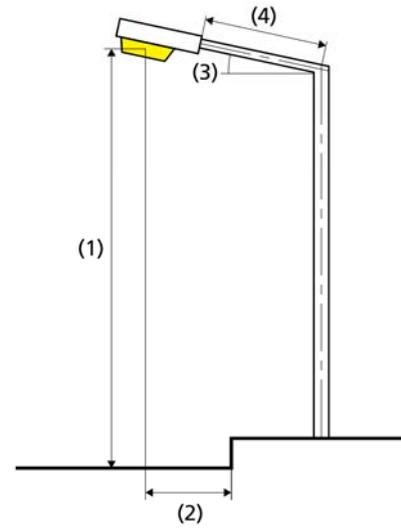
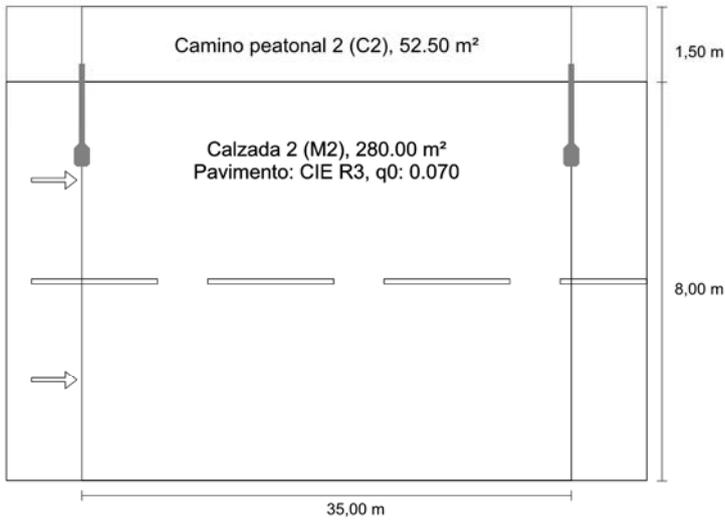
Emín : lux
 Emed : lux

Esquema



Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación
Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C2)

Em [lx] ≥ 20.00	Uo ≥ 0.40
✓ 33.42	✓ 0.51

Calzada 2 (M2)

Lm [cd/m²] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	EIR ≥ 0.35	TI [%]
✓ 2.90	✓ 0.63	✓ 0.82	✓ 0.80	* 10

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.016 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Lámpara:
Flujo luminoso (luminaria): 31033.49 lm
Flujo luminoso (lámpara): 35000.00 lm
Horas de trabajo
4000 h: 100.0 %, 215.0 W
W/km: 6235.0
Organización: unilateral arriba
Distancia entre mástiles: 35.000 m
Inclinación del brazo (3): 0.0°
Longitud del brazo (4): 1.800 m
Altura del punto de luz (1): 10.400 m
Saliente del punto de luz (2): 1.450 m

ULR: 0.00
ULOR: 0.00
Valores máximos de la intensidad lumínica
sobre 70°: 586 cd/klm *
sobre 80°: 99.5 cd/klm *
sobre 90°: 0.00 cd/klm *
Clase de potencia lumínica: G*3

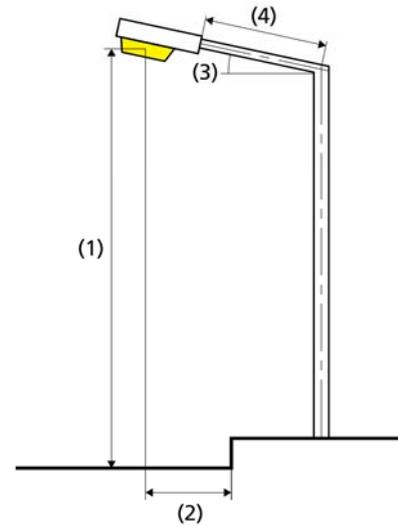
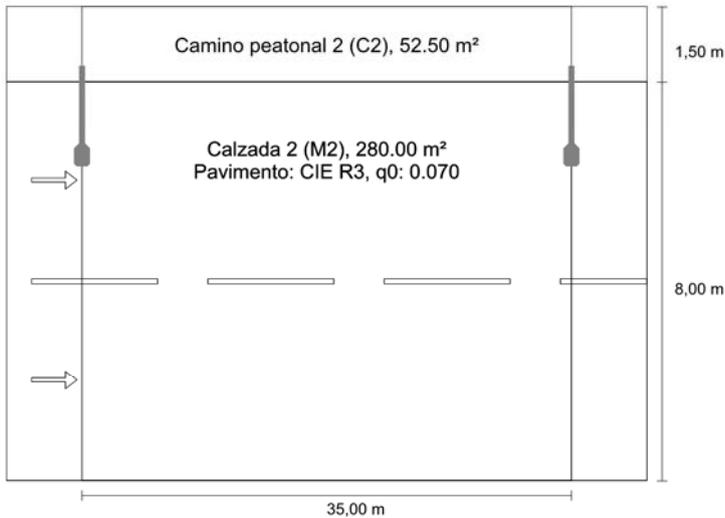
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación

Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C2)

Em [lx] ≥ 20.00	Uo ≥ 0.40
✓ 27.67	✓ 0.58

Calzada 2 (M2)

Lm [cd/m²] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	EIR ≥ 0.35	TI [%]
✓ 2.57	✓ 0.58	✓ 0.80	✓ 0.73	* 11

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.015 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Lámpara:

Flujo luminoso (luminaria):	26973.22 lm
Flujo luminoso (lámpara):	27000.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 180.0 W
W/km:	5220.0
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	35.000 m
Inclinación del brazo (3):	15.0°
Longitud del brazo (4):	1.800 m
Altura del punto de luz (1):	10.400 m
Saliente del punto de luz (2):	1.450 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 397 cd/klm *

sobre 80° 187 cd/klm *

sobre 90° 15.7 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: G*1

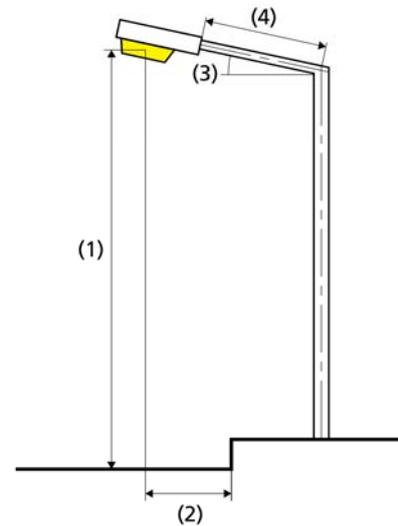
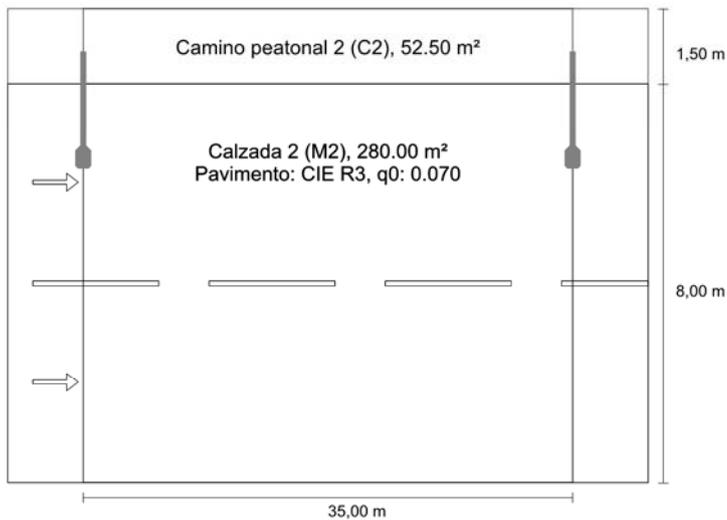
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.4

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación

Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C2)

Em [lx] ≥ 20.00	Uo ≥ 0.40
✓ 20.11	✓ 0.50

Calzada 2 (M2)

Lm [cd/m²] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	EIR ≥ 0.35	TI [%]
✓ 2.57	✓ 0.67	✓ 0.82	✓ 0.64	* 13

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.017 W/lxm²
 Densidad de consumo de energía

Flujo luminoso (luminaria):	21328.00 lm
Flujo luminoso (lámpara):	25920.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 178.0 W
W/km:	5162.0
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	35.000 m
Inclinación del brazo (3):	15.0°
Longitud del brazo (4):	1.800 m
Altura del punto de luz (1):	10.400 m
Saliente del punto de luz (2):	1.450 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Valores máximos de la intensidad lumínica	
sobre 70°	756 cd/klm *
sobre 80°	297 cd/klm *
sobre 90°	17.0 cd/klm *
Clase de potencia lumínica:	/

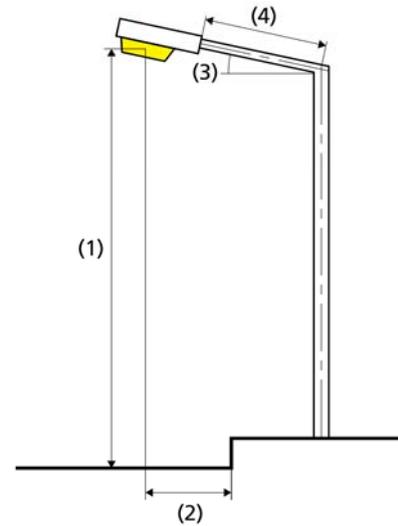
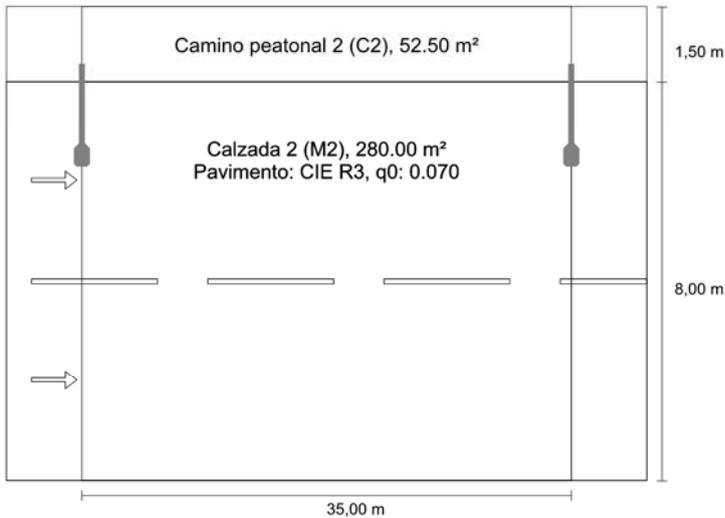
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación

Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C2)

Em [lx] ≥ 20.00	Uo ≥ 0.40
✓ 31.76	✓ 0.54

Calzada 2 (M2)

Lm [cd/m²] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	EIR ≥ 0.35	TI [%]
✓ 2.66	✓ 0.67	✓ 0.83	✓ 0.88	* 8

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.019 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Flujo luminoso (luminaria):	35624.07 lm
Flujo luminoso (lámpara):	40000.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 245.0 W
W/km:	7105.0
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	35.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0°
Longitud del brazo (4):	1.800 m
Altura del punto de luz (1):	10.400 m
Saliente del punto de luz (2):	1.450 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Valores máximos de la intensidad lumínica	
sobre 70°	483 cd/klm *
sobre 80°	68.3 cd/klm *
sobre 90°	0.00 cd/klm *
Clase de potencia lumínica:	G*4

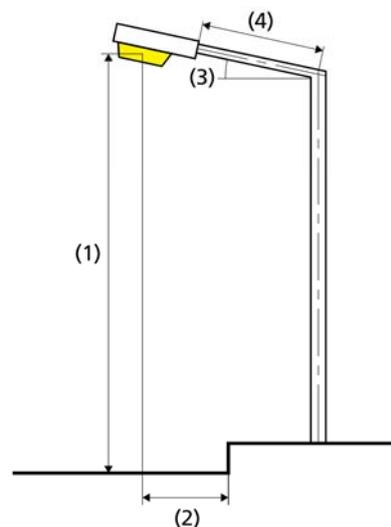
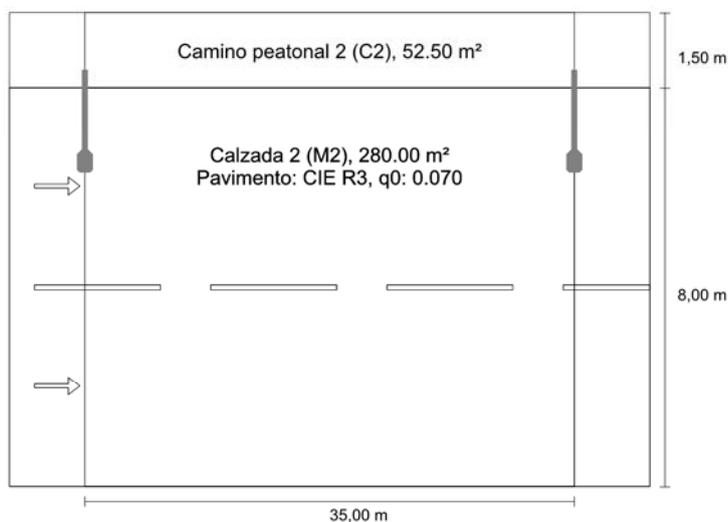
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación

Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C2)

Em [lx] ≥ 20.00	Uo ≥ 0.40
✓ 29.82	✓ 0.62

Calzada 2 (M2)

Lm [cd/m²] ≥ 1.50	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.70	EIR ≥ 0.35	TI [%]
✓ 2.69	✓ 0.53	✓ 0.76	✓ 0.71	* 10

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.019 W/lxm²

Densidad de consumo de energía

Flujo luminoso (luminaria):	29354.84 lm
Flujo luminoso (lámpara):	29360.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 239.1 W
W/km:	6933.9
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	35.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0°
Longitud del brazo (4):	1.800 m
Altura del punto de luz (1):	10.400 m
Saliente del punto de luz (2):	1.450 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 441 cd/klm *

sobre 80° 66.3 cd/klm *

sobre 90° 1.03 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: G*4

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

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Interpolación cuadrática

Proyecto

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 : °
 Tipo : Protector :
 Reflector : Configuración :
 Fuente : Potencia : W Flujo : klm FM :

Resumen

● Luminancia

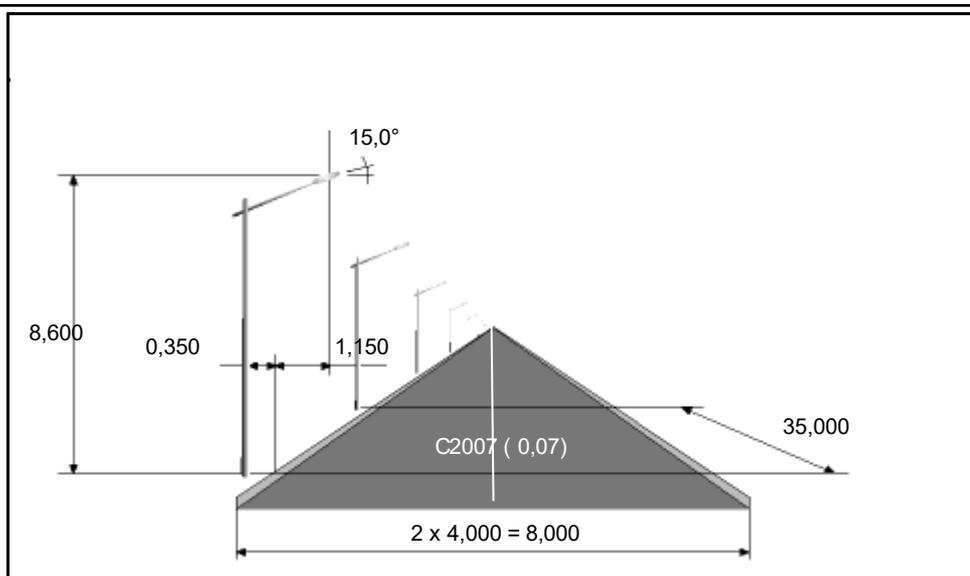
	1	2	
Obs Y	<input type="text" value="2,000"/>	<input type="text" value="6,000"/>	m
Lmed	<input type="text" value="1,62"/>	<input type="text" value="1,52"/>	cd/m ²
Uo	<input type="text" value="45,1"/>	<input type="text" value="42,1"/>	%
Ul	<input type="text" value="74,7"/>	<input type="text" value="70,6"/>	%
TI	<input type="text" value="14,9"/>		%

Posición del m

● Iluminancia

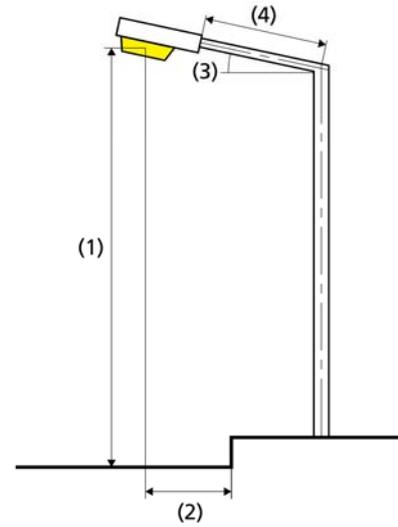
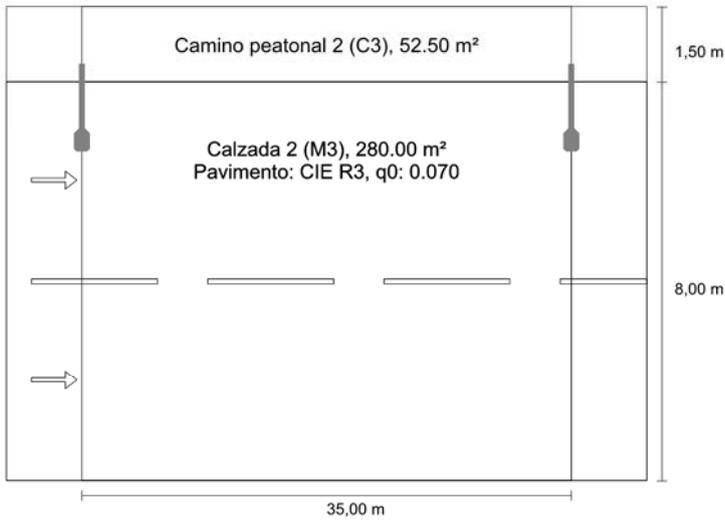
Emín : lux
 Emed : lux

Esquema



Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación
Factor de degradación: 0.93

Camino peatonal 2 (C3)

Em [lx]	Uo
* 16.95	* 0.48

Calzada 2 (M3)

Lm [cd/m²] ≥ 1.00	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.50	✓ 0.47	✓ 0.75	✓ 15	✓ 0.59

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.018 W/lxm²

Densidad de consumo de energía

Flujo luminoso (luminaria):	12096.69 lm
Flujo luminoso (lámpara):	12100.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 110.2 W
W/km:	3195.8
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	35.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0°
Longitud del brazo (4):	1.500 m
Altura del punto de luz (1):	8.600 m
Saliente del punto de luz (2):	1.150 m

ULR:	0.01
ULOR:	0.01
Valores máximos de la intensidad lumínica	
sobre 70°	645 cd/klm *
sobre 80°	250 cd/klm *
sobre 90°	4.94 cd/klm *
Clase de potencia lumínica:	/

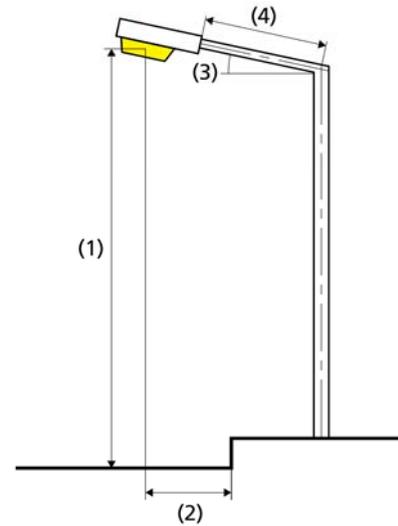
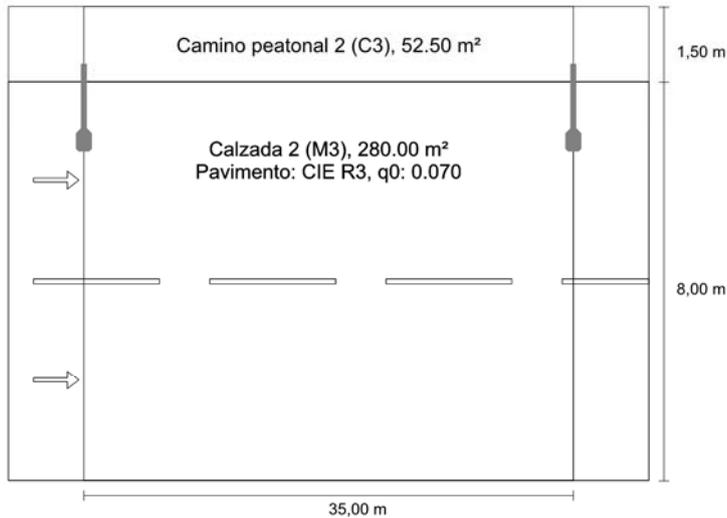
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación Factor de degradación: 0.93

Camino peatonal 2 (C3)

Em [lx]	Uo
* 22.28	* 0.40

Calzada 2 (M3)

Lm [cd/m²]	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.58	✓ 0.44	✓ 0.71	✓ 13	✓ 0.48

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.011 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Lámpara:

Flujo luminoso (luminaria): 13486.61 lm
Flujo luminoso (lámpara): 13500.00 lm

Horas de trabajo

4000 h: 100.0 %, 90.0 W
W/km: 2610.0

Organización:

unilateral arriba

Distancia entre mástiles: 35.000 m

Inclinación del brazo (3): 5.0°

Longitud del brazo (4): 1.500 m

Altura del punto de luz (1): 8.600 m

Saliente del punto de luz (2): 1.150 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 364 cd/klm *

sobre 80° 105 cd/klm *

sobre 90° 3.18 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: G*2

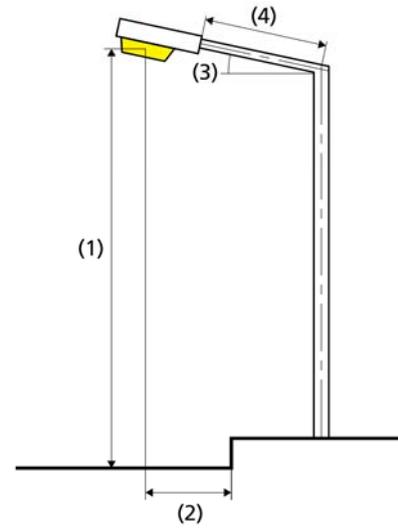
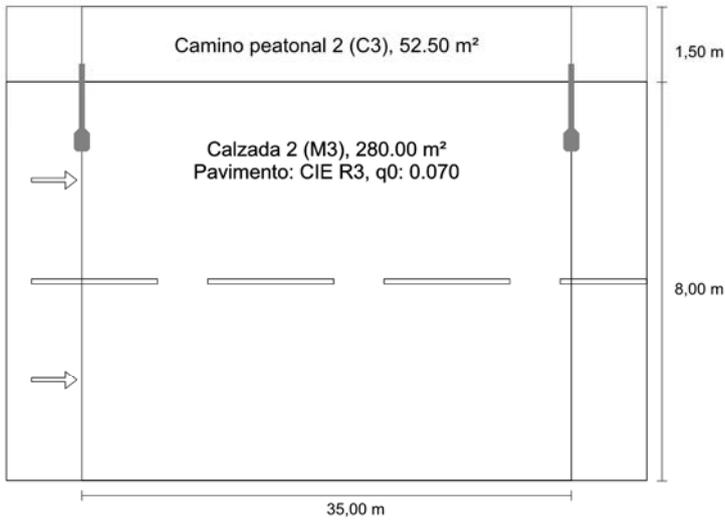
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C3)

Em [lx]	Uo
* 18.75	* 0.41

Calzada 2 (M3)

Lm [cd/m²]	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.55	✓ 0.54	✓ 0.74	✓ 11	✓ 0.70

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.013 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Lámpara:

Flujo luminoso (luminaria):	14476.26 lm
Flujo luminoso (lámpara):	16000.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 94.0 W
W/km:	2726.0
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	35.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0°
Longitud del brazo (4):	1.500 m
Altura del punto de luz (1):	8.600 m
Saliente del punto de luz (2):	1.150 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 586 cd/klm *

sobre 80° 99.5 cd/klm *

sobre 90° 0.00 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: G*3

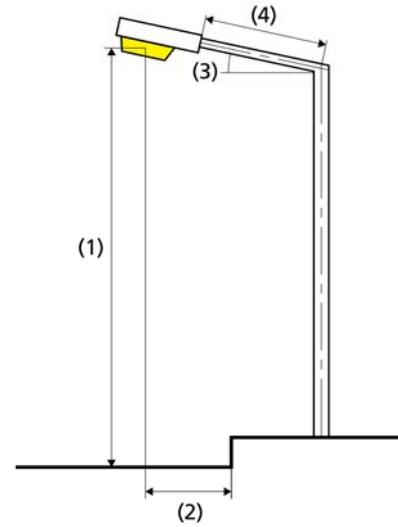
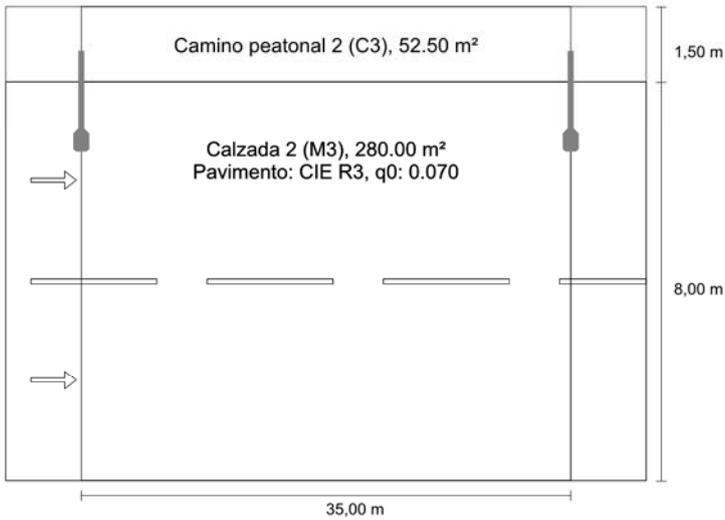
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación
Factor de degradación: 0.93

Camino peatonal 2 (C3)

Em [lx]	Uo
* 18.80	* 0.34

Calzada 2 (M3)

Lm [cd/m²] ≥ 1.00	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.55	✓ 0.45	✓ 0.70	✓ 10	✓ 0.30

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.014 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Lámpara:
Flujo luminoso (luminaria): 13150.70 lm
Flujo luminoso (lámpara): 16272.00 lm
Horas de trabajo
4000 h: 100.0 %, 108.0 W
W/km: 3132.0
Organización: unilateral arriba
Distancia entre mástiles: 35.000 m
Inclinación del brazo (3): 0.0°
Longitud del brazo (4): 1.500 m
Altura del punto de luz (1): 8.600 m
Saliente del punto de luz (2): 1.150 m

ULR: 0.00
ULOR: 0.00
Valores máximos de la intensidad lumínica
sobre 70°: 523 cd/klm *
sobre 80°: 54.0 cd/klm *
sobre 90°: 0.00 cd/klm *
Clase de potencia lumínica: G*3

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

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Interpolación cuadrática

Proyecto

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 : °
 Tipo : Protector :
 Reflector : Configuración :
 Fuente : Potencia : W Flujo : klm FM :

Resumen

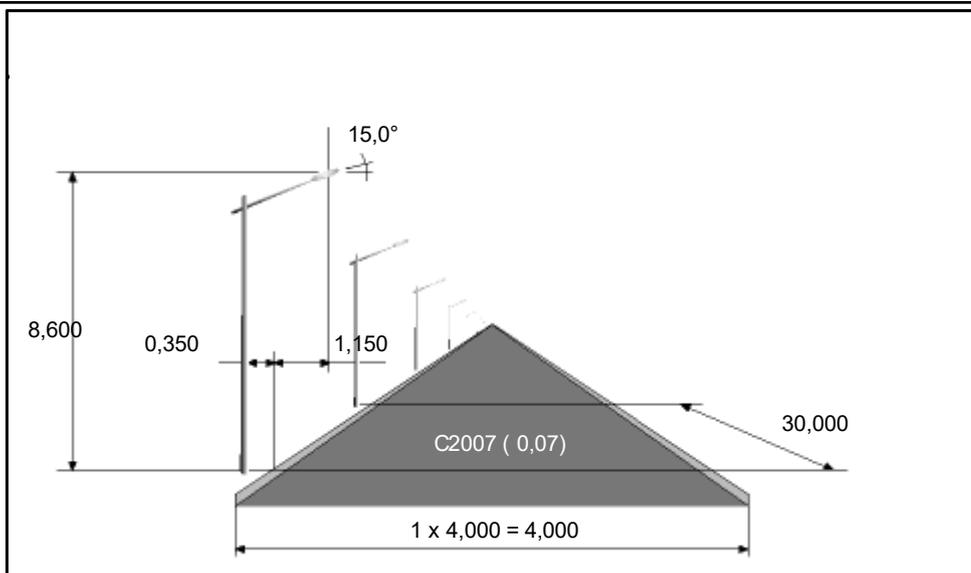
● Luminancia

1
 Obs Y : m
 Lmed : cd/m²
 Uo : %
 Ul : %
 TI : % Posición del m

● Iluminancia

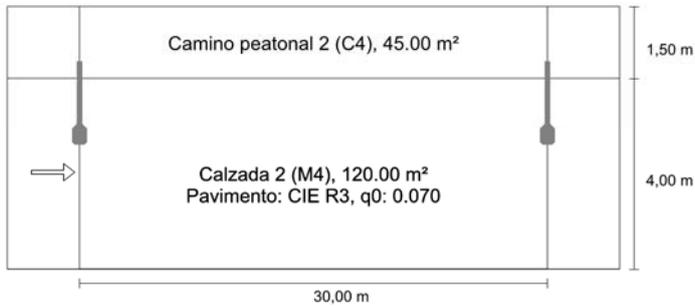
Emín : lux
 Emed : lux

Esquema



Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación

Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C4)

Em [lx] ≥ 10.00	Uo ≥ 0.40
✓ 10.11	✓ 0.58

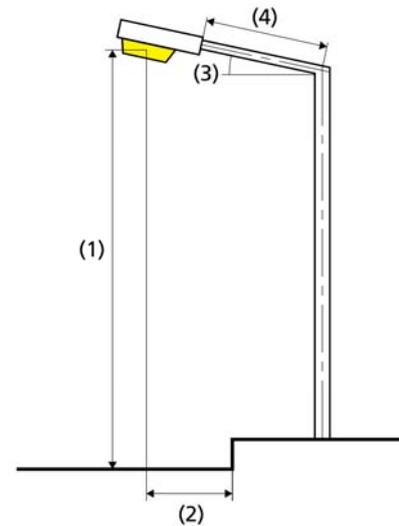
Calzada 2 (M4)

Lm [cd/m²] ≥ 0.75	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR
✓ 1.16	✓ 0.80	✓ 0.85	✓ 10	* 0.85

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.030 W/lxm²
Densidad de consumo de energía



Lámpara:

Flujo luminoso (luminaria):	6391.39 lm
Flujo luminoso (lámpara):	6393.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 57.4 W
W/km:	1894.5
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	30.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0°
Longitud del brazo (4):	1.500 m
Altura del punto de luz (1):	8.600 m
Saliente del punto de luz (2):	1.150 m

ULR: 0.01

ULOR: 0.01

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 645 cd/klm *

sobre 80° 250 cd/klm *

sobre 90° 4.94 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: /

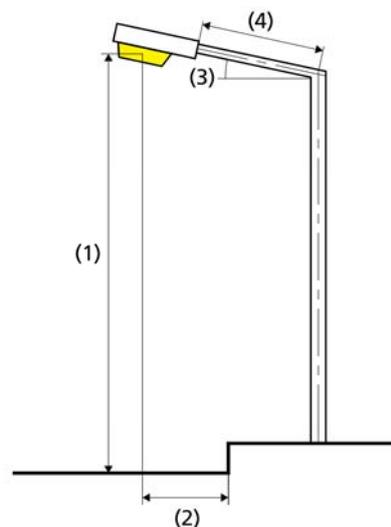
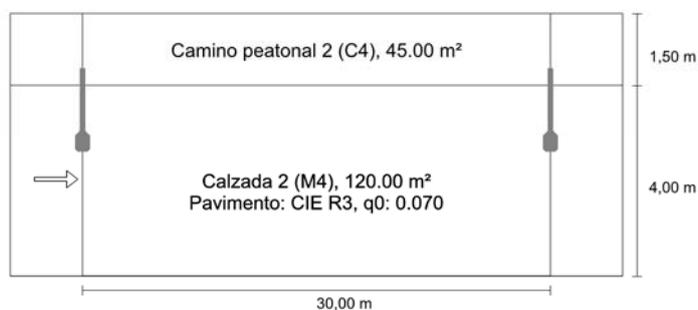
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación

Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C4)

U _o ≥ 0.40	Em [lx]
✓ 0.48	* 12.07

Calzada 2 (M4)

L _m [cd/m ²] ≥ 0.75	U _o ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR
✓ 1.05	✓ 0.78	✓ 0.89	✓ 8	* 0.77

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.018 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Lámpara:

Flujo luminoso (luminaria):	5994.05 lm
Flujo luminoso (lámpara):	6000.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 40.0 W
W/km:	1320.0
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	30.000 m
Inclinación del brazo (3):	0.0°
Longitud del brazo (4):	1.500 m
Altura del punto de luz (1):	8.600 m
Saliente del punto de luz (2):	1.150 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 355 cd/klm *

sobre 80° 99.1 cd/klm *

sobre 90° 0.00 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: G*4

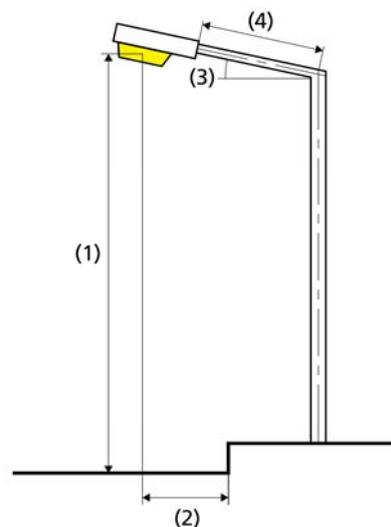
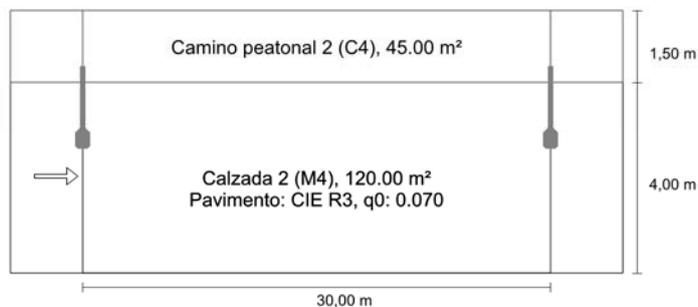
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación

Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C4)

U _o ≥ 0.40	Em [lx]
✓ 0.66	* 10.24

Calzada 2 (M4)

L _m [cd/m ²] ≥ 0.75	U _o ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR
✓ 1.25	✓ 0.76	✓ 0.84	✓ 11	* 0.77

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.027 W/lxm²
Densidad de consumo de energía

Lámpara:

Flujo luminoso (luminaria):	7347.79 lm
Flujo luminoso (lámpara):	8600.00 lm
Horas de trabajo	
4000 h:	100.0 %, 51.0 W
W/km:	1683.0
Organización:	unilateral arriba
Distancia entre mástiles:	30.000 m
Inclinación del brazo (3):	15.0°
Longitud del brazo (4):	1.500 m
Altura del punto de luz (1):	8.600 m
Saliente del punto de luz (2):	1.150 m

ULR: 0.01

ULOR: 0.00

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 368 cd/klm *

sobre 80° 373 cd/klm *

sobre 90° 141 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: /

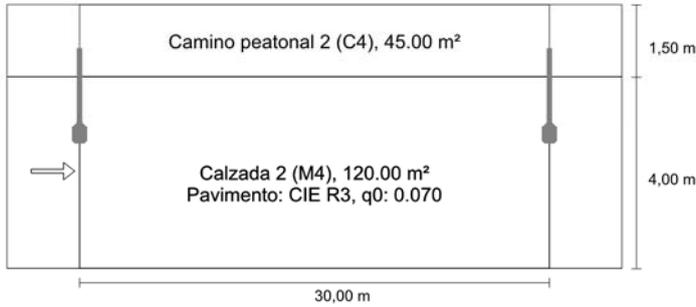
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calle 1 hacia EN 13201:2015



Resultados para campos de evaluación
Factor de degradación: 0.90

Camino peatonal 2 (C4)

Em [lx]	Uo
* 8.37	* 0.42

Calzada 2 (M4)

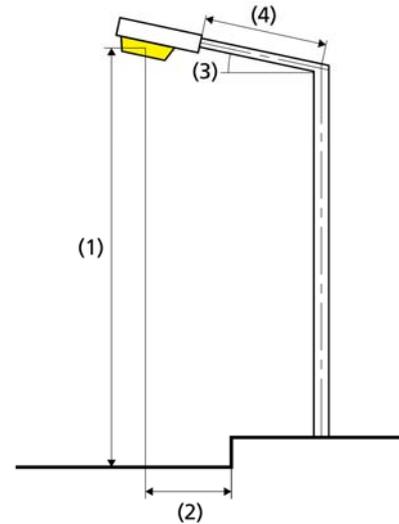
Lm [cd/m²] ≥ 0.75	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR
✓ 1.16	✓ 0.81	✓ 0.87	✓ 8	* 0.74

* Informativo, no es parte de la evaluación

Resultados para indicadores de eficiencia energética

Indicador de la densidad de potencia (Dp) 0.022 W/lxm²

Densidad de consumo de energía



Lámpara:

Flujo luminoso (luminaria): 4839.36 lm

Flujo luminoso (lámpara): 5906.00 lm

Horas de trabajo

4000 h: 100.0 %, 42.0 W

W/km: 1386.0

Organización: unilateral arriba

Distancia entre mástiles: 30.000 m

Inclinación del brazo (3): 0.0°

Longitud del brazo (4): 1.500 m

Altura del punto de luz (1): 8.600 m

Saliente del punto de luz (2): 1.150 m

ULR: 0.00

ULOR: 0.00

Valores máximos de la intensidad lumínica

sobre 70° 590 cd/klm *

sobre 80° 224 cd/klm *

sobre 90° 0.00 cd/klm *

Clase de potencia lumínica: /

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

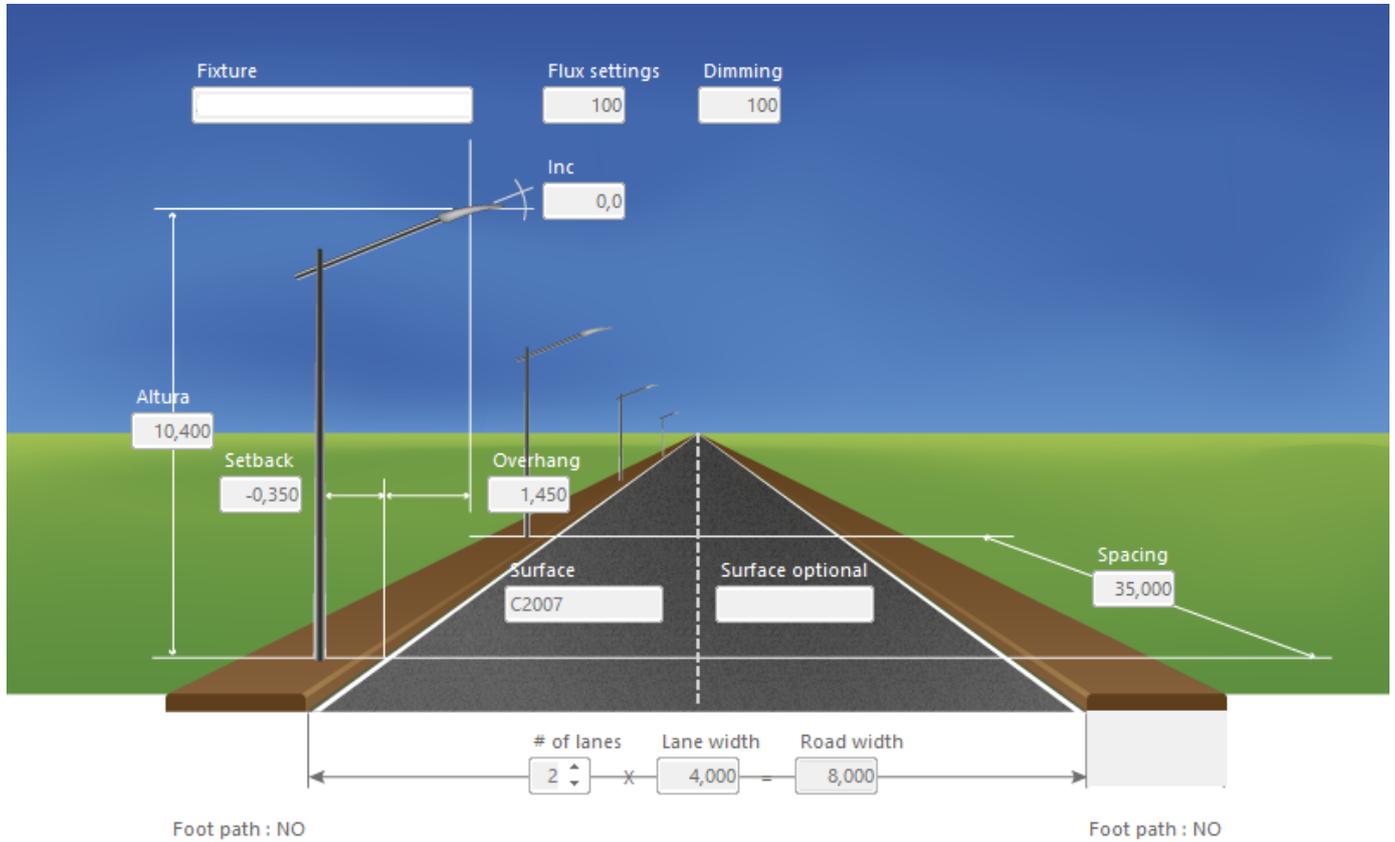
* Luminous intensity values in [cd/klm] for calculating luminous intensity class refer to the output flux of the luminaire, according EN 13201:2015.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

Calculations according to CIE 140

Selected lighting class Carretera : C1 - IL : Ave = 30,00 lux Uo = 40 % TI : 10 %



4.2. Resultados

Potencia por Km 4,050 kW

Carretera (IL-HS)

Illuminancia

Med 32,5 lx	✓	30,0 lx
Min 17,6 lx	N/A	
Uo 54 %	✓	40,0 %

Carretera (LU)

Luminance

UI 1 84 %	N/A
UI 2 69 %	N/A

Luminancia

Med 2,59 cd/m ²	N/A
Min 0,85 cd/m ²	N/A
Uo 33 %	N/A

Valores

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

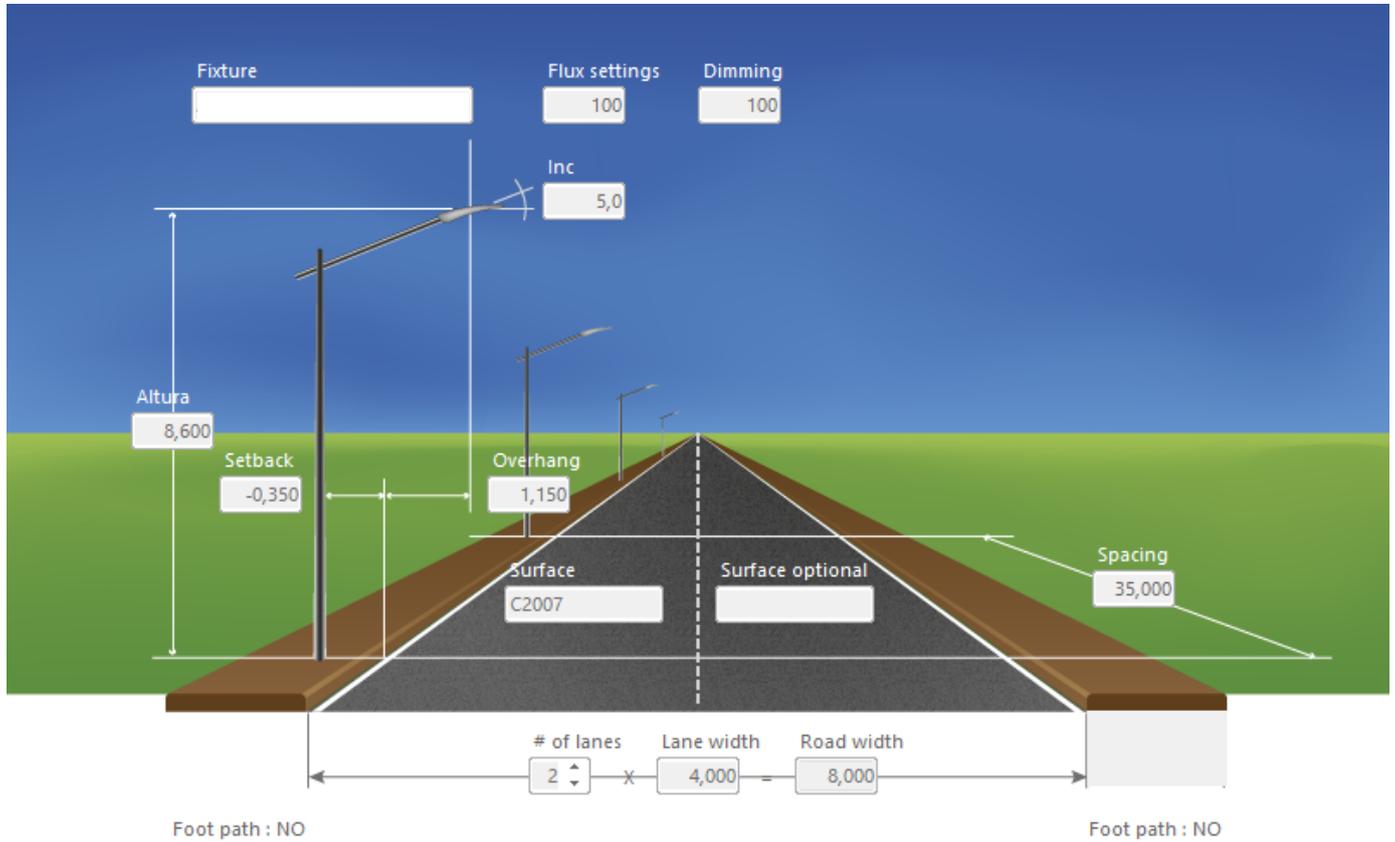
TI 6,7



10,0

Calculations according to CIE 140

Selected lighting class Carretera : C2 - IL : Ave = 20,00 lux Uo = 40 % TI : 10 %



3.2. Resultados

Potencia por Km 3,046 kW

Carretera (IL-HS)

Illuminancia

Med 21,5 lx	✓	20,0 lx
Min 10,0 lx	N/A	
Uo 46 %	✓	40,0 %

Carretera (LU)

Luminance

UI 1 82 %	N/A
UI 2 58 %	N/A

Luminancia

Med 1,67 cd/m ²	N/A
Min 0,49 cd/m ²	N/A
Uo 29 %	N/A

Valores

Nota:Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.

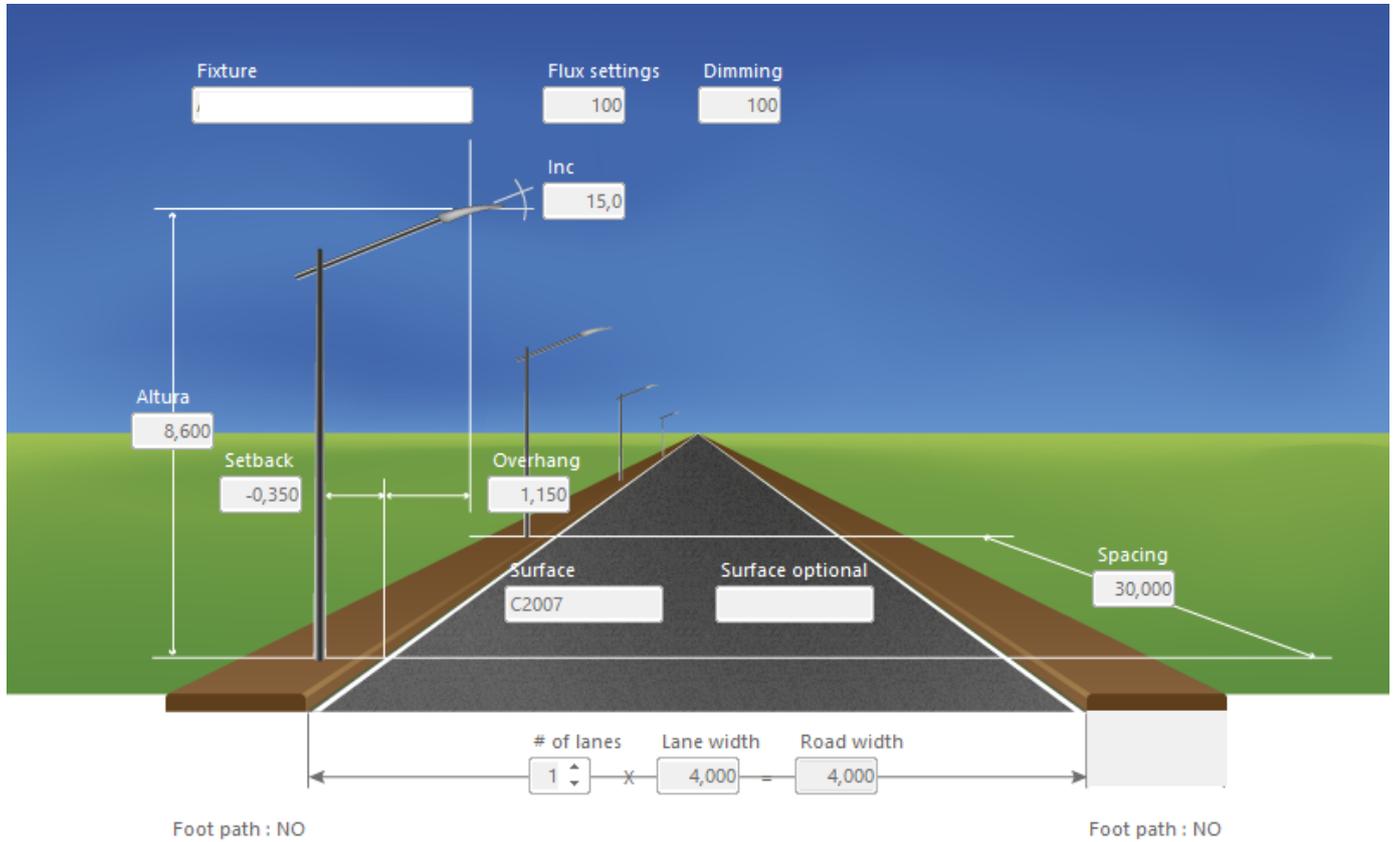
TI 7,1



10,0

Calculations according to CIE 140

Selected lighting class Carretera : C3 - IL : Ave = 15,00 lux Uo = 40 % TI : 15 %



4.2. Resultados

Potencia por Km 2,382 kW

Carretera (IL-HS)

Illuminancia

Med 15,2 lx	✓	15,0 lx
Min 7,2 lx	N/A	
Uo 48 %	✓	40,0 %

Vertical Illuminance

Med 9,5 lx	N/A
Min 1,3 lx	N/A

Carretera (LU)

Luminance

UI 1 75 %	N/A
-----------	-----

Luminancia

Med 1,37 cd/m ²	N/A
Min 1,01 cd/m ²	N/A

Nota: Se ha eliminado el fichero de las luminarias para no identificar el tipo de luminaria en prueba.