



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA  
CARRERA DE ELECTRICIDAD

**“EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL  
ALUMBRADO PÚBLICO FOTOVOLTAICO EN LA  
CALLE ELIA LIUT DE LA CIUDAD DE CUENCA”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES:** ANDY PATRICIO QUIZHPE MOROCHO  
CHRISTIAN GEOVANNY TENEZACA CUSCO  
**TUTOR:** ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS, MGTR.

CUENCA - ECUADOR  
2025

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Andy Patricio Quizhpe Morocho con documento de identificación N° 3050170442 y Christian Geovanny Tenezaca Cusco con documento de identificación N° 0104779079, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo de titulación; y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, Agosto del 2025

Atentamente,



---

Andy Patricio Quizhpe Morocho  
3050170442



---

Christian Geovanny Tenezaca Cusco  
0104779079

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**

Nosotros, Andy Patricio Quizhpe Morocho con documento de identificación N° 3050170442 y Christian Geovanny Tenezaca Cusco con documento de identificación N° 0104779079, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Evaluación técnico económica del alumbrado público fotovoltaico en la calle Elia Liut de la ciudad de Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Agosto del 2025

Atentamente,

---

**Andy Patricio Quizhpe Morocho**

3050170442

---

**Christian Geovanny Tenezaca Cusco**

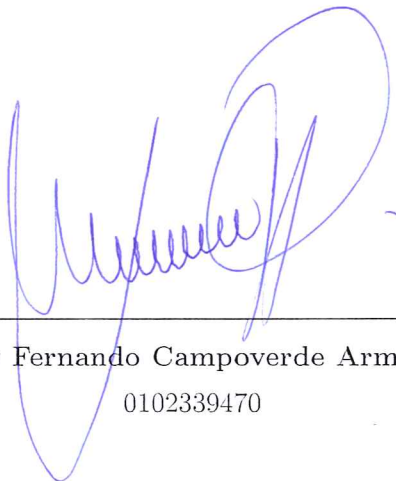
0104779079

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Freddy Fernando Campoverde Armijos con documento de identificación N° 0102339470, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO FOTOVOLTAICO EN LA CALLE ELIALIUT DE LA CIUDAD DE CUENCA", realizado por Andy Patricio Quizhpe Morochoco con documento de identificación N° 3050170442 y Christian Geovanny Tenezaca Cusco con documento de identificación N° 0104779079, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Agosto del 2025

Atentamente,



---

Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos, Mgtr.

0102339470

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesaria para culminar este proceso académico. Su guía constante ha sido luz en los momentos de incertidumbre y sostén en cada desafío.

A mis padres y familiares, gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba, y por ser el pilar fundamental que me ha sostenido durante toda mi formación. Cada uno, con su apoyo y palabras de aliento, ha contribuido a que este logro sea posible. A mi novia, gracias por caminar a mi lado con paciencia, comprensión y amor, por motivarme en los días difíciles y celebrar conmigo cada pequeño avance; tu presencia ha sido un motor invaluable en este camino.

De igual manera, mi sincero agradecimiento al Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos, mi tutor de tesis, por su valioso acompañamiento, orientación técnica y compromiso durante el desarrollo de este trabajo. Su guía ha sido clave para avanzar con claridad y profundidad en cada etapa de esta investigación.

A todos quienes, de una u otra forma, han sido parte de este camino, expreso mi más sincero agradecimiento.

Andy Patricio Quizhpe Morocho

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido una parte fundamental en esta etapa de mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome sus consejos y motivándome a no rendirme. A mis hermanos, por su apoyo constante y por ser un pilar importante en este proceso. Cada palabra, cada consejo y cada aliento han hecho posible la culminación de este logro.

Extiendo también mi gratitud a mis abuelos, por su cariño, apoyo incondicional y sabios consejos. Su ejemplo y motivación me han inspirado a perseverar y nunca darme por vencido.

De igual manera, mi sincero agradecimiento al Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos, mi tutor de tesis, por su valioso acompañamiento, orientación y compromiso. Su guía y paciencia ha sido clave para avanzar con esta investigación.

A todos quienes formaron esta gran etapa de mi vida, expreso mi más sincero agradecimiento.

Christian Geovanny Tenezaca Cusco

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, con profundo cariño, a mis padres, cuya constancia, afecto y respaldo incondicional han sido el sostén que me ha permitido avanzar y mantenerme firme en cada etapa de este camino académico. Su ejemplo y fortaleza han sido mi mayor inspiración.

Extiendo esta dedicatoria a mis familiares y amigos, por estar presentes con su compañía, palabras de aliento y confianza inquebrantable. Cada muestra de apoyo ha significado más de lo que puedo expresar, y este logro también les pertenece.

Andy Patricio Quizhpe Morocho

Dedico este trabajo de titulación, a mis padres, por el apoyo y consejos para no rendirme nunca, a mi hermana y hermano que son un ejemplo a seguir por que aprendo de ellos y son una gran pilar en mi familia, a mis abuelitas que me han ayudado con sus consejos sobre lo que es la vida, en especial a la que tengo en el cielo, se que soy un orgullo como su nieto y finalmente mi abuelito que eh aprendido mucho de el y por todo el cariño hacia sus nietos.

También va para mis familiares y amigos, que siempre me han ayudado con sus consejos y apoyo, dando así un logro mas en mi vida.

Christian Geovanny Tenezaca Cusco

## Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad realizar una evaluación técnico económica del sistema de alumbrado público fotovoltaico instalado en la calle Elia Liut de la ciudad de Cuenca. Se busca analizar su desempeño considerando aspectos técnicos como la eficiencia luminosa, la distribución de la luz y la uniformidad del alumbrado, además de factores económicos relacionados con los costos de instalación, operación y mantenimiento.

La investigación comienza con una revisión detallada de los estándares internacionales y nacionales sobre iluminación pública y sistemas fotovoltaicos. Posteriormente, se llevan a cabo mediciones de parámetros lumínicos utilizando equipos especializados, como luxómetro, luminacimetro y espectrómetro, para determinar el nivel de iluminación real proporcionado por el sistema.

Los datos recopilados se comparan con los valores recomendados por las normativas vigentes, permitiendo identificar posibles deficiencias y oportunidades de mejora. Además, se realiza un análisis económico que incluye costos de implementación, ahorro energético y retorno de inversión, considerando la vida útil del sistema.

Los resultados permiten establecer recomendaciones para optimizar el funcionamiento del alumbrado fotovoltaico, mejorando la sostenibilidad y eficiencia del servicio. Finalmente, se proponen futuras líneas de investigación, como la integración de tecnologías inteligentes y el uso de fuentes de energía renovable complementarias.

**Palabras clave:** Alumbrado público fotovoltaico, Evaluación técnico económica, Eficiencia luminosa, Uniformidad de iluminación, Distribución de luz, Energía renovable, Sostenibilidad, Ahorro energético, Retorno de inversión, Tecnologías inteligentes

# Abstract

The present work aims to conduct a technical and economic evaluation of the photovoltaic public lighting system installed on Elia Liut Street in the city of Cuenca. The study analyzes its performance considering technical aspects such as luminous efficiency, light distribution, and lighting uniformity, as well as economic factors related to installation, operation, and maintenance costs.

The investigation begins with a detailed review of international and national standards on public lighting and photovoltaic systems. Subsequently, measurements of light parameters are carried out using specialized equipment, such as a luxmeter, luminometer and spectrometer, to determine the actual lighting level provided by the system.

The collected data are compared with the recommended values established by current regulations, enabling the identification of potential deficiencies and areas for improvement. Additionally, an economic analysis is conducted, including implementation costs, energy savings, and return on investment, considering the system's lifespan.

The results provide recommendations to optimize the photovoltaic lighting system's operation, enhancing the service's sustainability and efficiency. Finally, future research lines are proposed, such as integrating smart technologies and using complementary renewable energy sources.

**Keywords:** Photovoltaic public lighting, Technical and economic evaluation, Luminous efficiency, Lighting uniformity, Light distribution, Renewable energy, Sustainability, Energy savings, Return on investment, Smart technologies.

# Índice

<b>Resumen</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>8</b>
<b>Introducción</b>	<b>18</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>18</b>
<b>Justificación</b>	<b>20</b>
<b>Grupo Objetivo</b>	<b>20</b>
<b>Objetivos</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>22</b>
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>22</b>
1.1. Alumbrado público . . . . .	22
1.2. Tecnologías de Iluminación en Alumbrado Público . . . . .	22
1.2.1. Luminaria vapor de sodio . . . . .	22
1.2.2. Luminaria vapor de mercurio . . . . .	22
1.2.3. Tecnología LED (Luminaria LED) . . . . .	23
1.3. Magnitudes y Unidades Luminotécnicas . . . . .	24
1.3.1. Iluminancia . . . . .	24
1.3.2. Luminancia . . . . .	24
1.3.3. Flujo Lumínico . . . . .	25
1.3.4. Intensidad Luminosa . . . . .	25
1.4. Parámetros de calidad de la luz . . . . .	26
1.4.1. Espectro electromagnético . . . . .	26
1.4.2. Índice de reproducción cromática IRC . . . . .	26
1.4.3. Temperatura de color . . . . .	27
1.4.4. Fotometría . . . . .	27
1.5. Propiedades ópticas de la materia . . . . .	28
1.5.1. Absorción . . . . .	28
1.5.2. Reflexión . . . . .	28
1.5.3. Transmisión . . . . .	29
1.5.4. Refracción . . . . .	29
1.6. Radiación solar . . . . .	30

1.6.1.	Radiación solar en Av. Elia Liut . . . . .	31
1.7.	Sistema Solar Fotovoltaico Autónomo SFA . . . . .	32
1.7.1.	Paneles Solares Fotovoltaicos . . . . .	32
1.7.2.	Regulador de carga . . . . .	35
1.7.3.	Baterías (Almacenamiento de energía) . . . . .	36
1.7.4.	Inversores . . . . .	39
1.8.	Instrumentos de Medición . . . . .	40
1.8.1.	Luxómetro . . . . .	40
1.8.2.	Luminancímetro . . . . .	40
1.8.3.	Espectrómetro . . . . .	41
1.8.4.	Resumen de magnitudes y unidades luminosas . . . . .	41
<b>Capítulo 2</b>		<b>42</b>
<b>2.</b>	<b>Normativas y Regulaciones</b>	<b>42</b>
2.1.	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR 007/23)(NN) . . . . .	42
2.1.1.	Vías para circulación vehicular . . . . .	42
2.1.2.	Vías de circulación peatonal . . . . .	45
2.2.	Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETI- LAP)(NI) . . . . .	47
2.2.1.	Vías para circulación vehicular . . . . .	47
2.2.2.	Especificaciones de iluminación para vías de circulación vehi- cular . . . . .	48
2.2.3.	Vías para trafico peatonal y ciclovia . . . . .	48
2.2.4.	Especificaciones de iluminación para zonas peatonales y ciclo- vías. . . . .	49
2.3.	Comisión Internacional de Iluminación (CIE 140:2019) . . . . .	50
2.3.1.	Calzada . . . . .	50
2.3.2.	Aceras y ciclovías . . . . .	52
2.4.	Real Decreto 1890/2008 (ESPAÑA).- Reglamento de eficiencia ener- gética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones téc- nicas complementarias EA-01 a EA-07 . . . . .	53
2.4.1.	Alumbrado vial . . . . .	53
2.4.2.	Clases de alumbrados . . . . .	54
2.4.3.	Niveles de iluminación . . . . .	55
2.4.4.	Niveles de iluminación de zonas especiales de viales . . . . .	56

**Capítulo 3** **57**

**3. Levantamiento y registro de datos del sistema de alumbrado público fotovoltaico existente en la calle Elia Liut, Cuenca** **57**

- 3.1. Área de estudio . . . . . 57
  - 3.1.1. Calle Elia Liut - Cuenca . . . . . 57
  - 3.1.2. Levantamiento de información del área de estudio . . . . . 59
- 3.2. Procedimiento de medición en campo . . . . . 60
  - 3.2.1. Tramo 1 . . . . . 60
  - 3.2.2. Tramo 2 . . . . . 61
- 3.3. Obtención de datos lumínicos existentes . . . . . 63
  - 3.3.1. Iluminancia - acera . . . . . 64
  - 3.3.2. Iluminancia - ciclovía . . . . . 65
  - 3.3.3. Luminancia - acera . . . . . 67
  - 3.3.4. Luminancia - ciclovía . . . . . 68
- 3.4. Registro de datos para análisis comparativo: anteriores con los actuales 70
  - 3.4.1. Datos registrados - acera . . . . . 70
  - 3.4.2. Datos registrados - ciclovía . . . . . 71
- 3.5. Encuestas a transeúntes y usuarios de la vía . . . . . 71
- 3.6. Obtención de datos para evaluación de viabilidad económica . . . . . 76
  - 3.6.1. Costos fijos de inversión - Led fotovoltaico . . . . . 77
  - 3.6.2. Costos fijos de mantenimiento - Led fotovoltaico . . . . . 77
  - 3.6.3. Ahorro energético - Led fotovoltaico . . . . . 78
  - 3.6.4. Costos fijos de inversión - Sodio . . . . . 79
  - 3.6.5. Costos fijos de mantenimiento - Sodio . . . . . 80
  - 3.6.6. Costos consumo de energía - Sodio . . . . . 81

**Capítulo 4** **82**

**4. Evaluación técnico - económica** **82**

- 4.1. Análisis del sistema fotovoltaico . . . . . 82
  - 4.1.1. Resultados de iluminancia - acera . . . . . 82
  - 4.1.2. Resultados de iluminancia - ciclovía . . . . . 89
  - 4.1.3. Resultados de luminancia - acera . . . . . 96
  - 4.1.4. Resultados de luminancia - ciclovía . . . . . 103
- 4.2. Análisis comparativo de los resultados anteriores y actuales . . . . . 110
  - 4.2.1. Resultado comparativo de iluminancia - acera . . . . . 110
  - 4.2.2. Resultado comparativo de iluminancia - ciclovía . . . . . 111

4.2.3. Resultado comparativo de luminancia - acera . . . . .	111
4.2.4. Resultado comparativo de luminancia - ciclovía . . . . .	112
4.3. Análisis de los resultados de las encuestas . . . . .	113
4.4. Análisis de viabilidad económica del sistema fotovoltaico en comparación con el tradicional de sodio . . . . .	119
<b>Capítulo 5</b>	<b>124</b>
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>124</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	124
5.2. Recomendaciones . . . . .	125

## Índice de figuras

1.	Tecnología LED . . . . .	23
2.	Iluminancia . . . . .	24
3.	Luminancia . . . . .	24
4.	Flujo Lumínico . . . . .	25
5.	Intensidad luminosa . . . . .	25
6.	Espectro electromagnético . . . . .	26
7.	Temperatura de color . . . . .	27
8.	Absorción . . . . .	28
9.	Reflexión . . . . .	28
10.	Transmisión . . . . .	29
11.	Refracción . . . . .	29
12.	Radiación solar . . . . .	30
13.	Irradiación solar Av. Elia Liut - Atlas solar mundial . . . . .	31
14.	Sistema fotovoltaico autónomo . . . . .	32
15.	Paneles solares fotovoltaicos . . . . .	33
16.	Panel monocristalino . . . . .	34
17.	Panel policristalino . . . . .	34
18.	Panel de película delgada . . . . .	35
19.	Regulador de carga PWM . . . . .	36
20.	Regulador de carga MPPT . . . . .	36
21.	Batería AGM . . . . .	37
22.	Batería de GEL . . . . .	38
23.	Batería de plomo-ácido abierta . . . . .	38
24.	Batería de Ion-Litio . . . . .	39
25.	Luxómetro . . . . .	40
26.	Luminancímetro . . . . .	40
27.	Espectrómetro . . . . .	41
28.	Punto de cálculo . . . . .	51
29.	Ubicación geográfica de la calle Elia Liut . . . . .	58
30.	Tramo 1 con el SFA . . . . .	58
31.	Tramo 2 con el SFA . . . . .	58
32.	Distribución de PC - Tramo 1.1 . . . . .	61
33.	Distribución de PC - Tramo 2.1 . . . . .	62
34.	Iluminancia - acera - tramo 1.1 . . . . .	83
35.	Iluminancia - acera - tramo 1.2 . . . . .	83

36.	Illuminancia - acera - tramo 1.3	84
37.	Illuminancia - acera - tramo 2.1	84
38.	Illuminancia - acera - tramo 2.2	85
39.	Illuminancia - acera - tramo 2.3	85
40.	Illuminancia - acera - tramo 2.4	86
41.	Illuminancia - acera - tramo 2.5	86
42.	Illuminancia - acera - tramo 2.6	87
43.	Illuminancia - acera - tramo 2.7	87
44.	Illuminancia - acera - tramo 2.8	88
45.	Illuminancia - acera - tramo 2.9	88
46.	Illuminancia - acera - tramo 2.10	89
47.	Illuminancia - ciclovía - tramo 1.1	90
48.	Illuminancia - ciclovía - tramo 1.2	90
49.	Illuminancia - ciclovía - tramo 1.3	91
50.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.1	91
51.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.2	92
52.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.3	92
53.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.4	93
54.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.5	93
55.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.6	94
56.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.7	94
57.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.8	95
58.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.9	95
59.	Illuminancia - ciclovía - tramo 2.10	96
60.	Luminancia - acera - tramo 1.1	96
61.	Luminancia - acera - tramo 1.2	97
62.	Luminancia - acera - tramo 1.3	97
63.	Luminancia - acera - tramo 2.1	98
64.	Luminancia - acera - tramo 2.2	98
65.	Luminancia - acera - tramo 2.3	99
66.	Luminancia - acera - tramo 2.4	99
67.	Luminancia - acera - tramo 2.5	100
68.	Luminancia - acera - tramo 2.6	100
69.	Luminancia - acera - tramo 2.7	101
70.	Luminancia - acera - tramo 2.8	101
71.	Luminancia - acera - tramo 2.9	102
72.	Luminancia - acera - tramo 2.10	102

73.	Luminancia - ciclovía - tramo 1.1 . . . . .	103
74.	Luminancia - ciclovía - tramo 1.2 . . . . .	104
75.	Luminancia - ciclovía - tramo 1.3 . . . . .	104
76.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.1 . . . . .	105
77.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.2 . . . . .	105
78.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.3 . . . . .	106
79.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.4 . . . . .	106
80.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.5 . . . . .	107
81.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.6 . . . . .	107
82.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.7 . . . . .	108
83.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.8 . . . . .	108
84.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.9 . . . . .	109
85.	Luminancia - ciclovía - tramo 2.10 . . . . .	109
86.	Comparación de la iluminancia en la acera: anterior y actualmente . .	110
87.	Comparación de la iluminancia en la ciclovía: anterior y actualmente	111
88.	Comparación de la luminancia en la acera: anterior y actualmente . .	112
89.	Comparación de la luminancia en la ciclovía: anterior y actualmente .	112
90.	Resultados de encuesta - pregunta 1 . . . . .	113
91.	Resultados de encuesta - pregunta 2 . . . . .	114
92.	Resultados de encuesta - pregunta 3 . . . . .	115
93.	Resultados de encuesta - pregunta 4 . . . . .	115
94.	Resultados de encuesta - pregunta 5 . . . . .	116
95.	Resultados de encuesta - pregunta 6 . . . . .	117
96.	Resultados de encuesta - pregunta 7 . . . . .	117
97.	Resultados de encuesta - pregunta 8 . . . . .	118
98.	Resultados de encuesta - pregunta 9 . . . . .	118
99.	Resultados de encuesta - pregunta 10 . . . . .	119

## Índice de tablas

1.	Índice de Reproducción Cromática (IRC) según el tipo de lámpara . . .	27
2.	Resumen de Magnitudes y Unidades Luminosas . . . . .	41
3.	Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M) . . . .	43
4.	Requisitos para clases M de alumbrado vial . . . . .	44
5.	Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (P) . . . .	45
6.	Requisitos de iluminación para trafico peatonal . . . . .	46
7.	Clases de iluminación para vías vehiculares . . . . .	47
8.	Requisitos fotométricos de luminancia para vías de tránsito vehicular .	48
9.	Clases de iluminación para diferentes descripciones de calzada . . . . .	49
10.	Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal . . . . .	50
11.	Clasificación de vías según tipo y velocidad del tráfico . . . . .	54
12.	Clases de alumbrado para via tipo C y D . . . . .	54
13.	Clases de alumbrado para via tipo E . . . . .	55
14.	Serie S del Nivel de iluminación tipo C, D y E . . . . .	55
15.	Serie CE del Nivel de iluminacion tipo D Y E . . . . .	55
16.	Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipos A y B . . . . .	56
17.	Inventario de SFA - Elia Liut . . . . .	59
18.	Acera - tramo 1.1 . . . . .	64
19.	Acera - tramo 1.2 . . . . .	64
20.	Acera - tramo 1.3 . . . . .	65
21.	Ciclovia - tramo 1.1 . . . . .	65
22.	Ciclovia - tramo 1.2 . . . . .	66
23.	Ciclovia - tramo 1.3 . . . . .	66
24.	Acera - tramo 1.1 . . . . .	67
25.	Acera - tramo 1.2 . . . . .	67
26.	Acera - tramo 1.3 . . . . .	68
27.	Ciclovia - tramo 1.1 . . . . .	68
28.	Ciclovia - tramo 1.2 . . . . .	69
29.	Ciclovia - tramo 1.3 . . . . .	69
30.	Comparación de iluminancia y luminancia - Aceras (Tramos 1.1 al 2.10)	70
31.	Comparación de iluminancia y luminancia - Ciclovia (Tramos 1.1 al 2.10) . . . . .	71
32.	Desglose de costos del sistema LED fotovoltaico . . . . .	77
33.	Costo de mantenimiento de baterías y limpieza . . . . .	78
34.	Desglose de costos del sistema de alumbrado con luminarias de sodio	79

35. Costo de mantenimiento de luminarias y limpieza . . . . . 80

36. Equivalencia de luminaria operando al 100% . . . . . 120

37. Costos anuales acumulados del sistema fotovoltaico durante su vida  
útil . . . . . 121

38. Costos anuales acumulados del sistema de sodio durante su vida útil . 122

39. Comparación entre sistema de sodio y sistema LED fotovoltaico . . . 123

## Introducción

En el contexto actual, donde la sostenibilidad ambiental y el uso eficiente de los recursos energéticos son prioridades globales, los sistemas de alumbrado público juegan un papel fundamental. La implementación de tecnologías basadas en energías renovables, como la energía solar, se ha convertido en una alternativa viable para reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental.

En este marco, los sistemas de alumbrado público fotovoltaico destacan por su capacidad para generar electricidad a partir de la luz solar, permitiendo un suministro autónomo y sostenible. Sin embargo, su aplicación efectiva requiere un análisis detallado que considere tanto su desempeño técnico como su viabilidad económica.

La presente investigación se centra en evaluar el sistema de alumbrado público fotovoltaico instalado en la calle Elia Liut de la ciudad de Cuenca. El estudio busca determinar su eficiencia en términos de iluminación, consumo energético y costos asociados, comparándolos con los estándares establecidos por normativas nacionales e internacionales.

Para ello, se realizarán mediciones de parámetros lumínicos utilizando equipos especializados y se llevará a cabo un análisis económico que abarque costos de instalación, operación y mantenimiento. El propósito es identificar oportunidades de mejora y ofrecer recomendaciones para optimizar el sistema, contribuyendo así al desarrollo de soluciones sostenibles y eficientes para la iluminación pública en entornos urbanos.

## Antecedentes

La energía solar puede ser la mejor opción para el futuro de la humanidad porque es el recurso más abundante de energía renovable [1]. Este tipo de energía ha ganado relevancia en los últimos años debido a su capacidad para reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la sostenibilidad ambiental. La tecnología de células solares ha crecido de manera exponencial en las 2 últimas décadas. Ha pasado de ser utilizada en aplicaciones de pequeña escala a convertirse en una fuente de energía principal [2].

Los principios de la energía fotovoltaica se remontan a 1839 cuando un físico francés, Edmond Becquerel, descubre el efecto fotovoltaico [3]. Edmond observó que al iluminar un electrodo metálico sumergido en una solución líquida, ciertos materiales producían una pequeña cantidad de corriente eléctrica, lo que sentó las bases para el desarrollo de la energía fotovoltaica [4]. Cuarenta y cuatro años después, en 1883, el inventor estadounidense Charles Edgar Fritts creó el primer módulo

fotovoltaico utilizando una lámina de cobre recubierta con selenio y una fina capa semitransparente de oro, lo que lograba una eficiencia del 1%. Esta tecnología se popularizó rápidamente en los medidores de exposición de las cámaras fotográficas [5]. Un año después, en 1884, C. Fitts instaló el primer panel solar en un tejado en Nueva York, marcando un hito en la historia de la energía solar fotovoltaica. Este sistema pionero, aunque con una eficiencia limitada en comparación con los paneles actuales, sentó las bases para el desarrollo de la tecnología fotovoltaica que ha evolucionado significativamente desde entonces [6].

Posteriormente, en 1954, Calvin Fuller, un químico de Bell Labs, descubrió cómo agregar impurezas al silicio (doparlo), lo que permitió la creación de la primera célula solar basada en silicio. Este avance fue posible gracias a la colaboración con Gerald Pearson, un físico que ayudó en el proceso. Pearson sumergió una barra de silicio dopado en litio, lo que resultó en la observación de propiedades fotovoltaicas, logrando una sorprendente eficiencia del 6% al usar boro y arsénico como dopantes [7]. Gracias a este gran logro, dos años después, en 1956 aparecieron las primeras células solares comerciales. Aunque su costo era muy elevado, comenzaron a utilizarse en satélites estadounidenses y soviéticos durante la carrera espacial a finales de los años 50, lo que también permitió su uso en misiones espaciales [8].

En el ámbito de la energía fotovoltaica en la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, se han implementado diversos proyectos en el transcurso de los años, evidenciando el interés por explorar fuentes de energía renovable. En [9] se presenta un proyecto acerca de la modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, proporcionando un análisis detallado sobre su integración y eficiencia, que sentó las bases para comprender la viabilidad de este tipo de energía en espacios laborales, académicos y sociales. De igual manera, se llevó a cabo un estudio de la factibilidad del uso de energía fotovoltaica para la iluminación exterior de la universidad, teniendo como resultado un impacto positivo en la reducción de costos, mismo que puede proporcionar beneficio a la institución [10].

Los sistemas fotovoltaicos han experimentado un avance significativo en los últimos años, impulsados principalmente por la creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles y la reducción de costos en la tecnología solar [11].

Actualmente, la integración de sistemas solares fotovoltaicos en redes de distribución para el suministro eléctrico directo a usuarios tanto residenciales como industriales ha demostrado ser una alternativa factible. Esto permite reducir significativamente los costos operativos, aumentar la competitividad de los sectores productivos y, al mismo tiempo, desempeñar un rol crucial en la transición hacia un modelo energético más sostenible a nivel global [12].

## Justificación

La iluminación juega un papel fundamental en la seguridad y el bienestar tanto en espacios públicos como residenciales, debido a que contribuye a la seguridad vial y también ayuda a prevenir el delito, promoviendo un ambiente más cómodo para la comunidad. En este contexto, la iluminación fotovoltaica representa una solución sostenible que, además, permite mejorar aspectos técnicos como la iluminancia, la luminancia y la eficiencia del sistema, garantizando un entorno visual más seguro y confortable con un menor impacto ambiental. Este proyecto tiene como objetivo analizar el rendimiento de sistemas de iluminación avanzados, en particular el uso de energía solar fotovoltaica, aplicado en espacios públicos como la calle Elia Liut en la ciudad de Cuenca. Implementar tecnologías de iluminación sostenibles permite un uso más eficiente de los recursos energéticos y asegura que los espacios sean más seguros y confortables, lo que contribuye directamente a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

En los últimos años, Cuenca ha estado promoviendo la implementación de tecnologías renovables con la necesidad de reducir el consumo de energía eléctrica asociadas al uso de fuentes no renovables, orientándose en cuanto a la sostenibilidad y eficiencia energética. No obstante, esta evaluación requiere un aspecto económico que permita determinar un beneficio a largo plazo.

## Grupo objetivo

Este proyecto tendrá un impacto positivo en la ciudad, dado que contribuirá significativamente a mejorar la calidad de vida de sus residentes. Esto resultará en beneficios claros para los ciudadanos al ofrecer un sistema de alumbrado público eficiente y amigable con el medio ambiente. Una buena iluminación ayuda a los conductores con la visibilidad, además de aumentar la seguridad vial y peatonal, y reducir los índices de criminalidad. Además, ayuda a reducir la incidencia de accidentes de ciclistas al mejorar la visibilidad en la ciclo vía. Por lo tanto, este proyecto proporcionará información relevante acerca de los sistemas fotovoltaicos empleados en ciudades.

# Objetivos

## Objetivo general

Evaluar la eficiencia y la factibilidad técnico-económica del sistema de alumbrado público fotovoltaico existente en la calle Elia Liut, a través de mediciones de iluminación que aseguren el cumplimiento de los estándares establecidos y analicen su impacto en la seguridad vial.

## Objetivos específicos

- Determinar los parámetros luminotécnicos en aceras y ciclo vía, verificando el cumplimiento de los estándares establecidos en las normativas vigentes.
- Analizar la comodidad visual de los transeúntes y ciclistas en la vía, en base a su experiencia de visibilidad y confort con los niveles de iluminación.
- Estudiar la viabilidad económica del sistema fotovoltaico en comparación con el alumbrado público tradicional.

# Capítulo 1

## 1. Marco Teórico

### 1.1. Alumbrado público

Es un sistema de iluminación exterior diseñado para proporcionar visibilidad y seguridad en espacios urbanos y rurales durante la noche, mediante la instalación de luminarias en vías, parques y espacios públicos, cumpliendo criterios de eficiencia energética, uniformidad luminosa, luminancia e iluminancia establecidos por normativas técnicas [13].

### 1.2. Tecnologías de Iluminación en Alumbrado Público

#### 1.2.1. Luminaria vapor de sodio

Es un equipo de alumbrado que utiliza una lámpara de descarga en gas, donde el sodio actúa como elemento emisor de luz al ser excitado eléctricamente. Existen dos tipos principales: de alta presión (HPS) y baja presión (LPS). Estas luminarias se caracterizan por su larga vida útil y tonalidad amarilla-ámbar, lo que las hace adecuadas para alumbrado vial y urbano, aunque con baja reproducción cromática [14].

- Vapor de sodio alta presión (HPS): Es un tipo de luminaria que produce luz al calentar sodio dentro de un tubo presurizado. Se caracteriza por su alta eficiencia (hasta 150 lm/W), larga duración y luz amarilla intensa.
- Vapor de sodio a baja presión (LPS): es una fuente de luz que funciona mediante la excitación de sodio en un tubo a baja presión, produciendo una luz monocromática amarilla muy intensa y eficiente (hasta 200 lm/W).

#### 1.2.2. Luminaria vapor de mercurio

Las lámparas de vapor de mercurio de alta presión tienen un tubo de cuarzo con vapor de mercurio y electrodos para el encendido. Emiten luz azul verdosa, con poca luz roja, por lo que se añaden fluorescentes para mejorar el color. Tienen una vida útil larga (hasta 25,000 horas), pero su brillo disminuye con el tiempo. Si se rompen, liberan mercurio, lo que es peligroso [14].

### 1.2.3. Tecnología LED (Luminaria LED)

Los LEDs son diodos semiconductores que emiten luz cuando una corriente pequeña los atraviesa en polarización directa. Su nombre viene del inglés “Light Emitting Diode”, que significa diodo emisor de luz. A diferencia de las lámparas incandescentes, la luz en los LEDs se produce por electroluminiscencia, es decir, la liberación de fotones al moverse electrones dentro del semiconductor. Esto permite una conversión de energía más eficiente con menos pérdidas. La luz blanca que emiten puede tener una temperatura de color entre 2700 K y 5300 K [15].

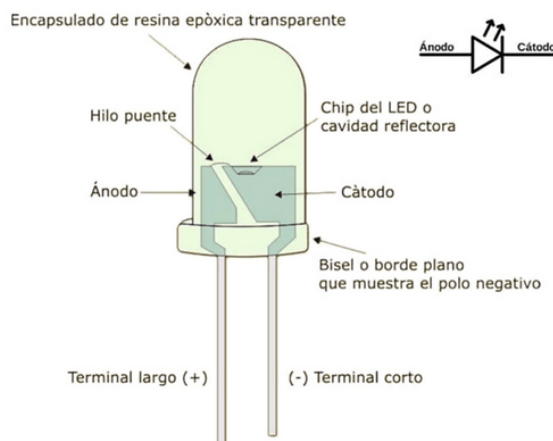


Figura 1: Tecnología LED

**Fuente:** [15]

Actualmente, los LEDs ofrecen varias ventajas frente a las lámparas tradicionales antes mencionadas, como [16]:

- Los LEDs consumen entre un 30 % y 75 % menos energía que las lámparas tradicionales.
- No contienen gases tóxicos como mercurio o arsénico, siendo más amigables con el medio ambiente.
- No emiten radiación ultravioleta ni infrarroja.
- Tienen una alta eficiencia energética.
- Su temperatura de operación es un 20 % a 50 % menor que otras fuentes de luz.
- Al ser dispositivos de estado sólido, son resistentes a golpes y vibraciones.
- Requieren mantenimiento casi nulo.

## 1.3. Magnitudes y Unidades Luminotécnicas

### 1.3.1. Iluminancia

Es el índice representativo de la densidad de flujo luminoso sobre una superficie. Se define como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y el tamaño de la misma (ver Figura 2). Su unidad de medida es el Lux [lx], donde un lux equivale a  $lm/m^2$ , y está representado por la letra E [17].

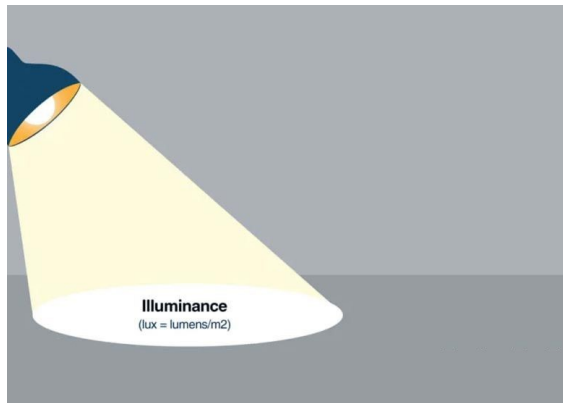


Figura 2: Iluminancia

*Fuente:* [16]

### 1.3.2. Luminancia

Es una propiedad del brillo de una fuente de luz o de una superficie iluminada en una dirección específica. Es lo que genera la sensación de claridad en el ojo humano, tal como se ilustra en la Figura 3. La percepción de mayor o menor claridad de objetos igualmente iluminados depende de su luminancia [18]. Su unidad de medida es la candela por metro cuadrado  $cd/m^2$ , y está representado por la letra L.

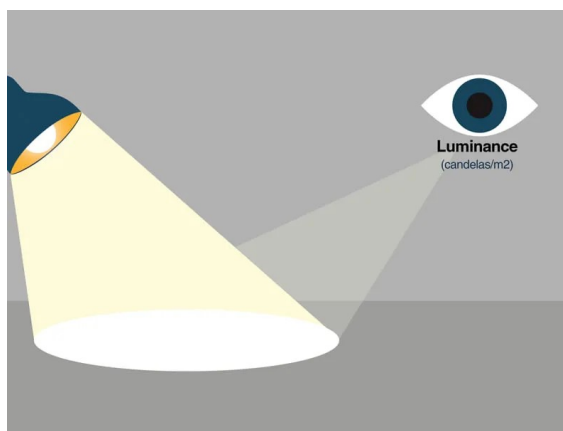


Figura 3: Luminancia

*Fuente:* [16]

### 1.3.3. Flujo Lumínico

Es la cantidad de energía emitida por una fuente de luz (ver Figura 4) en el espectro visible por unidad de tiempo, ajustada según la sensibilidad del ojo humano a distintas longitudes de onda. Se representa con el símbolo  $\Phi$  y su unidad de medida es el lumen [lm] [19].



Figura 4: Flujo Lumínico

*Fuente:* [16]

### 1.3.4. Intensidad Luminosa

Es una medida que indica cuánta luz emite una fuente en una dirección específica, tal como se ilustra en la Figura 5. Se expresa en candelas (cd) y permite saber qué tan concentrada está la luz en un punto determinado [20].

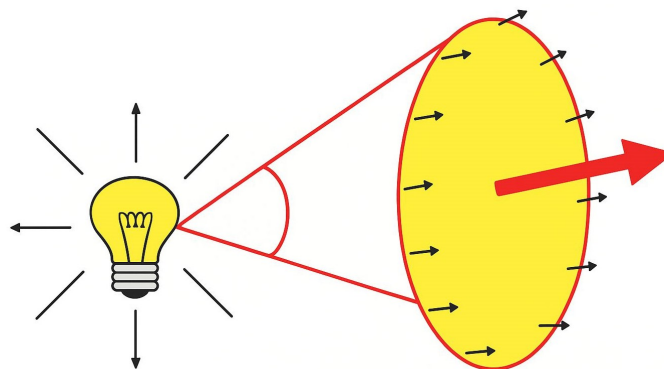


Figura 5: Intensidad luminosa

*Fuente:* [16]

## 1.4. Parámetros de calidad de la luz

### 1.4.1. Espectro electromagnético

El espectro visible es la parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede ver. A la radiación dentro de este rango se le llama luz visible o simplemente luz. Aunque no hay un límite exacto, la mayoría de las personas pueden ver longitudes de onda entre 380 y 750 nanómetros, como se muestra en la Figura 6. En algunos casos poco comunes, algunas personas pueden llegar a ver desde los 310 hasta los 1050 nanómetros. Un ejemplo natural de cómo se descompone esta luz es el arcoíris, aunque no muestra el espectro de forma completamente precisa [21].

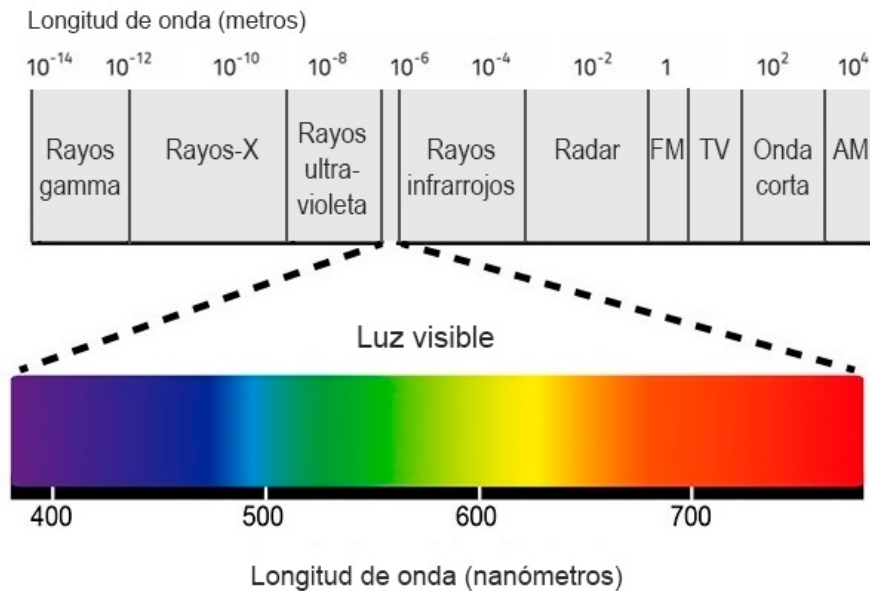


Figura 6: Espectro electromagnético

*Fuente:* [21]

### 1.4.2. Índice de reproducción cromática IRC

El IRC es un indicador relacionado con la distribución espectral de la potencia de una fuente de luz, que mide qué tan bien esta fuente puede reproducir los colores. Se le conoce como Índice de Reproducción Cromática (IRC o Ra) o CRI (Color Rendering Index). Sus valores suelen estar entre 0 y 100, aunque en algunos casos pueden ser negativos. Una fuente luminosa con un CRI entre 90 y 100 se considera que tiene una excelente capacidad para reproducir colores, tal como se muestra en la Tabla 1, mientras que si el CRI es menor a 50, se considera que la fuente tiene un rendimiento pobre en la reproducción del color [22].

Tipo de lámpara	IRC Aproximado	Escala de calidad (rango)
Luz solar (referencia)	100	Excelente (96–100)
LED de alta calidad	80–98	Buena a excelente (80–100)
Halógena	95–100	Excelente
Fluorescente de buena calidad	80–90	Buena
Fluorescente estándar	60–79	Aceptable a regular
Lámpara de sodio alta presión	20–40	Muy baja
Lámpara de mercurio	40–50	Baja
Lámpara de sodio baja presión	<25	Muy deficiente

Tabla 1: Índice de Reproducción Cromática (IRC) según el tipo de lámpara

### 1.4.3. Temperatura de color

La temperatura de color es una medida que describe el tono o color que emite una fuente de luz, expresada en Kelvin (K). Básicamente, se refiere al color de la luz que produce una fuente, que puede ir desde tonos cálidos (amarillos o rojizos) hasta tonos fríos (azulados). Por ejemplo, una luz con temperatura de color baja, como 2700 K, se ve más cálida y amarilla, mientras que una luz con temperatura alta, como 6500 K, se percibe más fría y azulada, tal como se muestra en la Figura 7 [16].

### 1.4.4. Fotometría

La fotometría es la ciencia que mide la luz visible en función de su efecto sobre el ojo humano. Es decir, cuantifica la intensidad y distribución de la luz tal como la percibe el ser humano [23].

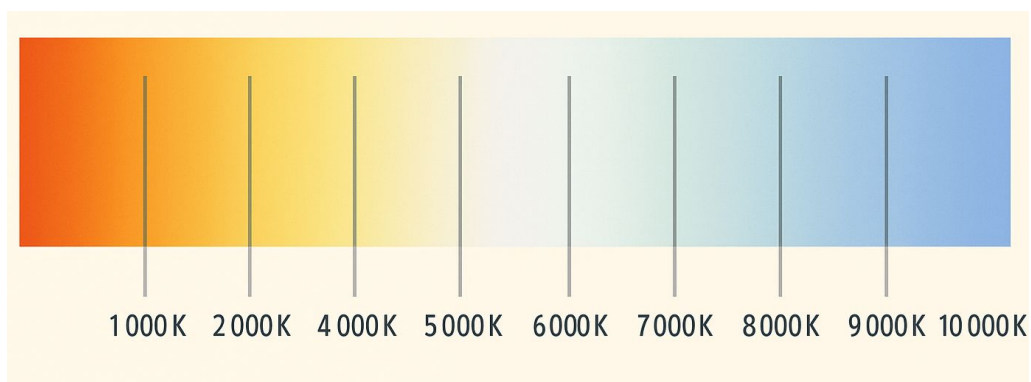


Figura 7: Temperatura de color

*Fuente:* Autores

## 1.5. Propiedades ópticas de la materia

### 1.5.1. Absorción

Es el proceso por el cual un material capta energía (como luz, sonido o calor) que incide sobre él, y la transforma internamente, generalmente en forma de calor, tal como se muestra en la Figura 8 [16].

Por ejemplo, cuando usas una camiseta negra en un día soleado, sientes más calor porque el color negro absorbe más luz del sol. En cambio, una camiseta blanca refleja más luz y no se calienta tanto.



Figura 8: Absorción

*Fuente:* [16]

### 1.5.2. Reflexión

La reflexión es el fenómeno que ocurre cuando una onda, como la luz, el sonido o el agua, choca con una superficie y rebota en lugar de ser absorbida o atravesarla, tal como se indica en la Figura 9 [16].



Figura 9: Reflexión

*Fuente:* [16]

### 1.5.3. Transmisión

Tal como se detalla en la Figura 10, la transmisión es el proceso mediante el cual una onda (como la luz, el sonido o una señal electromagnética) atraviesa un material o medio y continúa su propagación al otro lado, sin ser absorbida ni reflejada completamente [16].

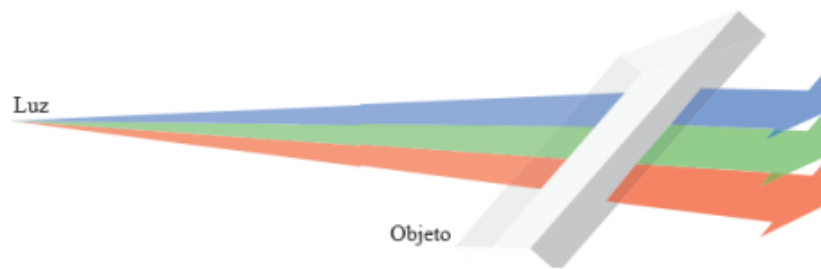


Figura 10: Transmisión

*Fuente:* [16]

### 1.5.4. Refracción

Cuando la luz pasa de un material transparente a otro que tiene una densidad diferente, su dirección cambia porque viaja a distintas velocidades en cada material. A este cambio de dirección se le llama refracción (ver Figura 11). La luz puede propagarse a distintas velocidades en medios como el vacío, el aire, el agua, el vidrio, el diamante, el cuarzo y la glicerina, todos ellos transparentes o translúcidos [24].

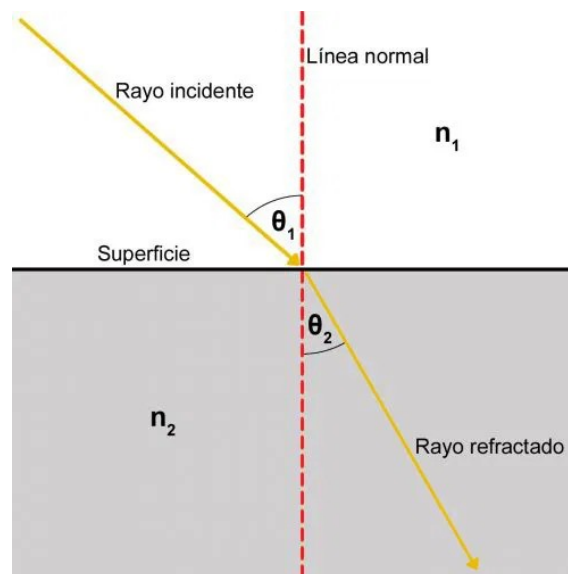


Figura 11: Refracción

*Fuente:* [24]

## 1.6. Radiación solar

La radiación solar que emite el Sol llega debilitada a la atmósfera terrestre alrededor de  $1360 \text{ W/m}^2$  debido a la gran distancia entre el sol y la tierra. Al atravesar la atmósfera, esta energía se atenúa aún más, de modo que la radiación que finalmente alcanza la superficie terrestre es de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$  [25].

Se pueden identificar tres tipos de radiación solar según la forma en que los rayos del Sol inciden sobre la Tierra:

- Directa (ver Figura 12): Es la que proviene del Sol sin desviarse al atravesar la atmósfera.
- Difusa (ver Figura 12): Es la radiación cuya dirección ha sido modificada por fenómenos como la reflexión y dispersión en la atmósfera
- Reflejada (o albedo) (ver Figura 12): Es la radiación que, tras incidir en el suelo u otras superficies cercanas, se refleja y alcanza los paneles.

De estos tres tipos, la radiación directa es la más abundante y la que tiene mayor relevancia en aplicaciones fotovoltaicas y térmicas. No obstante, incluso en días nublados, donde no se recibe radiación directa por condiciones meteorológicas u obstrucciones, la radiación difusa permite que aún llegue energía solar a la superficie.

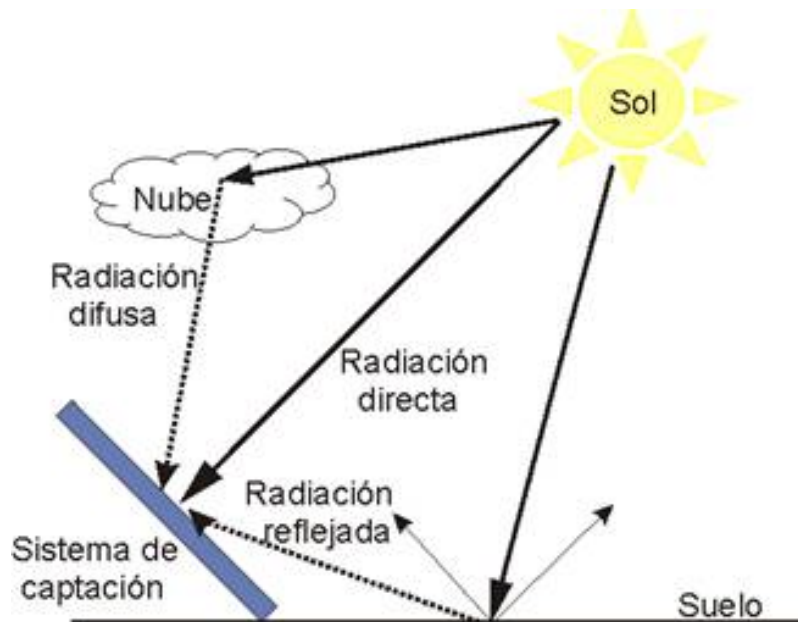


Figura 12: Radiación solar

*Fuente:* [25]

La radiación solar que alcanza la superficie terrestre está influenciada por factores astronómicos y climáticos. Entre los principales elementos que afectan su disponibi-

lidad en un lugar se encuentran: la latitud, que determina la inclinación con la que llegan los rayos solares según la distancia al ecuador; la nubosidad, ya que en días nublados la radiación difusa puede reducirse hasta una décima parte en comparación con la radiación directa; la humedad, que puede absorber parte de la energía solar; y la claridad atmosférica, ya que la presencia de nubes, smog o polvo en suspensión disminuye la cantidad de radiación que logra llegar al suelo [26].

### 1.6.1. Radiación solar en Av. Elia Liut

En el Anexo 6 se presentan los valores mensuales promedio de irradiación solar obtenidos del Atlas Solar Mundial, el cual proporciona información sobre el potencial de aprovechamiento de la energía solar.

En la Figura 13 se muestran dichos valores promedio mensuales, evidenciándose que el mes de noviembre registra la mayor radiación, alcanzando un valor de 4663 Wh/m<sup>2</sup>. En contraste, el mes de marzo presenta el valor más bajo, con 3295 Wh/m<sup>2</sup>, considerando el rango horario comprendido entre las 06:00 h y las 18:00 h. Durante el resto de las horas del día, la irradiancia es de 0 W/m<sup>2</sup>, debido a la ausencia de radiación solar.

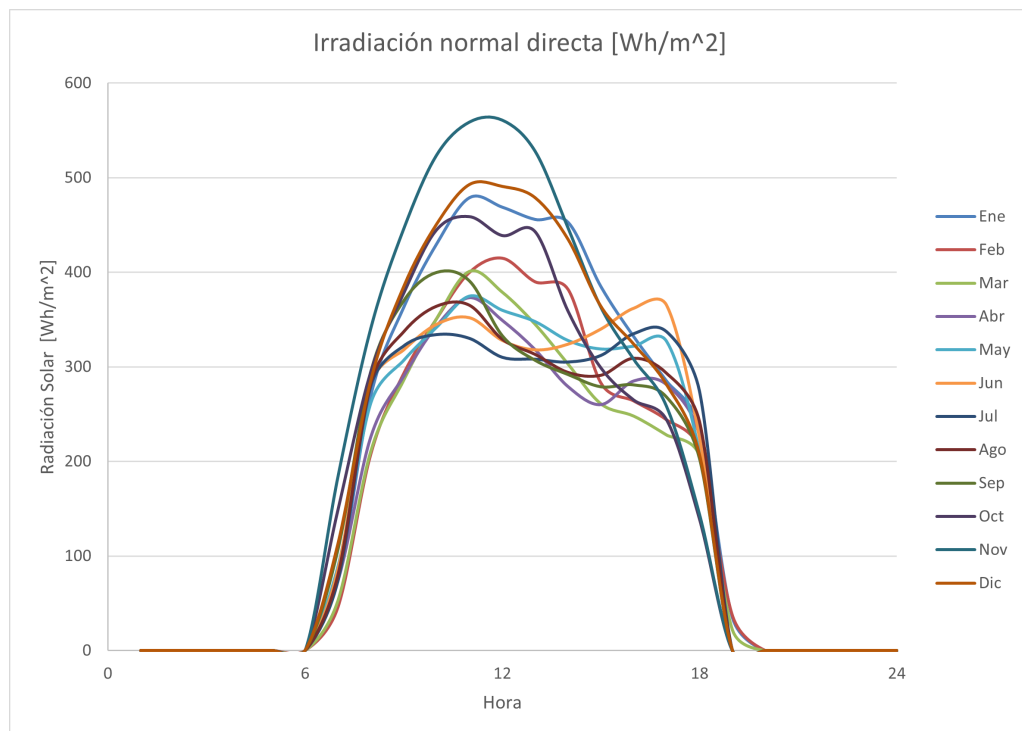


Figura 13: Irradiación solar Av. Elia Liut - Atlas solar mundial

*Fuente:* Autores

De este modo, se determinó una radiación solar promedio anual de  $3755 \text{ W/m}^2$  en la Av. Elia Liut (ver Anexo 6).

Asimismo, para obtener información detallada y completa sobre los tipos de radiación solar del sitio, se remite al lector al Anexo 6.

## 1.7. Sistema Solar Fotovoltaico Autónomo SFA

Un sistema fotovoltaico autónomo o aislado (SFA) transforma la energía solar en electricidad y la almacena en baterías para ser utilizada más adelante. Funciona de manera independiente, sin necesidad de estar conectado a la red eléctrica, y suministra energía a los equipos. Como se indica en la Figura 14, este sistema se compone de un generador o panel fotovoltaico, regulador de carga, sistema de almacenamiento (baterías), inversor y el suministro (alumbrado público). Eso quiere decir que no depende de la red eléctrica para abastecer la carga [16]. Este tipo de sistema es adecuado para zonas remotas sin acceso a la red, especialmente donde el consumo eléctrico es bajo y la radiación solar es favorable. En ciertos casos, representa la opción más conveniente para electrificar viviendas o edificaciones [26].

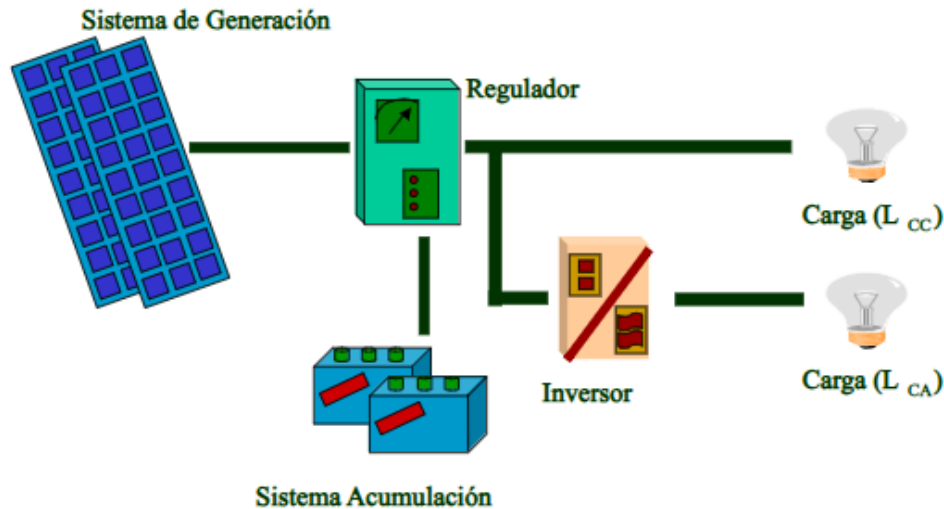


Figura 14: Sistema fotovoltaico autónomo

*Fuente:* [26]

### 1.7.1. Paneles Solares Fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos son dispositivos que transforman la luz del sol en electricidad mediante un proceso llamado efecto fotovoltaico. Están formados por celdas solares, usualmente hechas de silicio, un material que reacciona a la luz [27].

Estas celdas contienen metales sensibles que, al recibir luz solar, liberan electrones y generan corriente eléctrica. Cada celda puede producir entre 2 y 4 amperios, con un voltaje de aproximadamente 0.46 a 0.48 voltios. Para alcanzar el voltaje necesario según el uso, se conectan varias celdas en serie formando un panel. La energía generada es en forma de corriente continua, la cual puede ser almacenada en baterías para su uso en momentos sin luz solar, como en la noche. Además, los paneles pueden captar tanto radiación solar directa como difusa, lo que permite generar electricidad incluso en días nublados [28].



Figura 15: Paneles solares fotovoltaicos

*Fuente:* [27]

La fabricación de los módulos fotovoltaicos se basa en procesos de cristalización del silicio, los cuales consisten en la estructuración ordenada de sus átomos. A continuación, se describen los tipos de silicio cristalino más comúnmente empleados en la industria fotovoltaica [29]:

- **Monocristalinos:** Estos módulos (ver Figura 16) están fabricados a partir de un solo cristal continuo de silicio, obtenido mediante el proceso de crecimiento Czochralski, en el cual un cristal semilla se introduce en silicio fundido y se extrae lentamente para formar una estructura cristalina uniforme. Esta estructura permite un flujo más eficiente de electrones, lo que se traduce en una alta eficiencia de conversión, generalmente entre 15 % y 22 %. Debido a su mayor rendimiento, son ideales para espacios reducidos o instalaciones con alta demanda energética, aunque su proceso de fabricación es más costoso y produce más desecho de material.

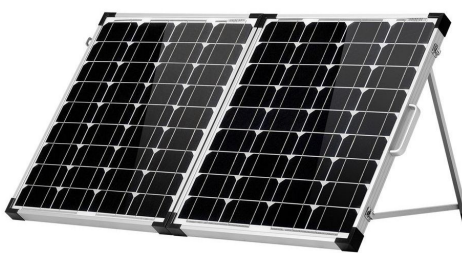


Figura 16: Panel monocristalino

*Fuente:* [29]

- Policristalinos (ver Figura 17): Se elaboran al fundir fragmentos de silicio que, al enfriarse, forman un bloque compuesto por múltiples cristales, sin un orden específico en su orientación atómica. Esta técnica de solidificación directa reduce costos y simplifica la fabricación, aunque introduce más imperfecciones cristalinas, lo que disminuye la eficiencia (13 % - 18 %) respecto a los monocristalinos. Son comunes en aplicaciones residenciales o comerciales con suficiente espacio disponible, debido a su buena relación entre costo y rendimiento.



Figura 17: Panel policristalino

*Fuente:* [29]

- Película delgada: Estos paneles (ver Figura 18) se fabrican depositando capas muy delgadas (del orden de micras) de materiales semiconductores como telururo de cadmio (CdTe), silicio amorfo (a-Si) o cobre-indio-galio-seleniuro (CIGS) sobre superficies como vidrio, metal o plástico flexible, mediante procesos como la deposición por vapor o pulverización catódica. Esta tecnología permite producir módulos ligeros, flexibles y económicos, aunque su eficiencia

es menor (7% - 13%) y su vida útil más corta. Son adecuados para aplicaciones especiales, como superficies curvas, sistemas móviles o situaciones donde el peso es una limitación.



Figura 18: Panel de película delgada

*Fuente:* [29]

### 1.7.2. Regulador de carga

Es un componente esencial en los sistemas fotovoltaicos autónomos, ya que gestiona el flujo de energía entre el panel solar, la batería y la carga eléctrica. Su función principal es proteger la batería contra dos condiciones críticas: la sobrecarga (cuando se llena demasiado) y la descarga profunda (cuando se vacía más allá de su límite seguro) [30]. Cuando el regulador detecta que el voltaje de las baterías ha alcanzado un valor igual o inferior al nivel mínimo definido como voltaje de descarga, procede a desconectar automáticamente las cargas, permitiendo que las baterías se recarguen mediante la energía proveniente de los paneles solares. De igual manera, si el voltaje de las baterías alcanza o supera el límite establecido como voltaje máximo o de sobrecarga, el regulador interrumpe el flujo de energía desde los módulos fotovoltaicos, evitando así daños que puedan reducir la vida útil de las baterías [31].

Los reguladores de carga se clasifican principalmente en dos tecnologías según su principio de operación [16]:

- PWM (Modulación por Ancho de Pulso): Tal como se muestra en la Figura 19, este es un tipo de regulador simple y económico. Controla la carga de la batería reduciendo gradualmente la corriente cuando se alcanza el voltaje máximo, enviando pulsos en lugar de corriente continua. Son adecuados para sistemas pequeños, aunque no aprovechan toda la potencia del panel cuando las condiciones de luz varían.



Figura 19: Regulador de carga PWM

*Fuente:* [30]

- MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia): Este regulador es más avanzado (véase Figura 20). Ajusta constantemente la tensión y corriente del panel para trabajar en el punto donde entrega la máxima potencia, mejorando la eficiencia del sistema, especialmente en climas fríos o con radiación variable. Son ideales para sistemas medianos o grandes, aunque son más costosos.



Figura 20: Regulador de carga MPPT

*Fuente:* [30]

### 1.7.3. Baterías (Almacenamiento de energía)

En los sistemas fotovoltaicos autónomos, donde no existe conexión a la red eléctrica, las baterías cumplen un rol fundamental: almacenar la energía generada por los paneles solares durante el día para que pueda ser utilizada en horas sin radiación solar (noche o días nublados) [30].

A continuación, se mencionan algunas características importantes de las baterías en sistemas fotovoltaicos [16]:

- La profundidad de descarga indica el porcentaje de la capacidad total de una batería que puede utilizarse sin comprometer su integridad.

- La capacidad nominal representa la cantidad de energía que una batería puede almacenar, expresada comúnmente en amperios-hora (Ah) o vatios-hora (Wh).
- Es el voltaje estándar al que opera la batería y suele ser de 12V, 24V o 48V, dependiendo del diseño y tamaño del sistema fotovoltaico.
- El ciclo de vida corresponde al número de veces que una batería puede ser cargada y descargada antes de que su capacidad útil disminuya significativamente.

Las baterías utilizadas deben ser profundas o de ciclo profundo, diseñadas específicamente para soportar repetidos ciclos de carga y descarga sin dañarse, a diferencia de las baterías automotrices. En estos sistemas, las más comunes son:

- Batería AGM (Esteras de vidrio absorbente): Las baterías AGM (véase Figura 21) son del tipo plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA) que utilizan una malla de fibra de vidrio para inmovilizar el electrolito. Tienen una eficiencia de carga/descarga cercana al 90–95 %, soportan profundidades de descarga (DOD) de hasta un 50 % sin comprometer gravemente su vida útil y presentan una autodescarga baja (<3 % mensual). Su resistencia interna es reducida, lo que permite una entrega rápida de corriente, y suelen operar a tensiones nominales de 12 V. Son adecuadas para ciclos moderados, con una vida útil estimada entre 300 y 500 ciclos al 50 % DOD [32].



Figura 21: Batería AGM

*Fuente:* [32]

- Batería de GEL: Este tipo de batería (véase Figura 22) VRLA emplea electrolito gelificado, lo que mejora su comportamiento térmico y su resistencia a descargas profundas. Tolera profundidades de descarga de hasta 60–70 %, con eficiencias energéticas del 85–90 %. Es más sensible a corrientes de carga elevadas debido a su mayor resistencia interna, por lo que requiere controladores

específicos con curvas de carga suaves. Su vida útil puede superar los 700 ciclos al 50 % DOD y se desempeña bien en climas cálidos, siendo estable ante ciclos frecuentes y condiciones variables [16].



Figura 22: Batería de GEL

*Fuente:* [16]

- **Batería de Plomo-Ácido Abierta:** Estas baterías (véase Figura 23) cuentan con electrolito líquido libre, requieren mantenimiento periódico y ventilación adecuada por su emisión de gases durante la carga. Poseen buena capacidad de entrega de corriente y operan en rangos típicos de 12 o 24 V, con eficiencia de ciclo de aproximadamente 80 %. Son sensibles a descargas profundas, por lo que se recomienda un DOD máximo de 30–40 % para prolongar su vida útil. Su duración ronda los 250–400 ciclos si se mantienen bajo condiciones controladas, pero su bajo costo las hace atractivas en proyectos de bajo presupuesto [32].



Figura 23: Batería de plomo-ácido abierta

*Fuente:* [32]

- **Baterías de Ion-Litio:** Las baterías de ion-litio (ver Figura 24), típicamente de tipo  $\text{LiFePO}_4$  para aplicaciones solares, ofrecen alta densidad energética, eficiencia superior al 95 %, y permiten descargas profundas de hasta 80–90 % DOD sin pérdida significativa de vida útil. Su vida útil puede superar los

3000 ciclos a profundidades de descarga elevadas, y funcionan a tensiones nominales modulables (generalmente 3.2 V por celda). Tienen alta corriente de carga/descarga, respuesta rápida y son ideales para sistemas fotovoltaicos exigentes [33].



Figura 24: Batería de Ion-Litio

*Fuente:* [33]

#### 1.7.4. Inversores

En sistemas fotovoltaicos autónomos, el inversor es un componente esencial encargado de convertir la energía eléctrica generada en corriente continua (DC) por los módulos solares en corriente alterna (AC), que es la forma de energía utilizada por la mayoría de los equipos eléctricos [34].

Existen varios tipos de inversores utilizados en este tipo de sistemas, cada uno con características y aplicaciones específicas [16], [34]:

- Inversor de onda sinusoidal pura: Producen una señal de salida idéntica a la de la red eléctrica, por lo que son compatibles con todo tipo de equipos, incluidos motores, refrigeradores y electrónicos sensibles. Son los más eficientes (90–95 %), confiables y recomendados para sistemas autónomos, aunque tienen un mayor costo.
- Inversor de onda modificada: Generan una señal en forma escalonada que simula una onda sinusoidal. Son más económicos, pero no aptos para cargas inductivas o electrónicas delicadas. Su eficiencia es menor (75–85 %) y pueden causar ruido o mal funcionamiento en algunos dispositivos.
- Inversor- cargador: Es el encargado de gestionar la carga de las baterías y, además, convertir la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). Son útiles en sistemas híbridos o donde se tiene respaldo como generador o red.

## 1.8. Instrumentos de Medición

### 1.8.1. Luxómetro

El luxómetro es un instrumento de alta precisión diseñado para medir la intensidad de la luz en lux (ver Figura 25). Se utiliza comúnmente para analizar la iluminación en diferentes áreas de iluminación [35]. Al realizar mediciones, hay que tener en cuenta distancia y el ángulo de medición respecto al objeto, para asegurar la precisión y consistencia en los resultados obtenidos.



Figura 25: Luxómetro

*Fuente:* [35]

### 1.8.2. Luminancímetro

El luminancímetro es un instrumento utilizado para medir la luminancia (véase Figura 26), es decir, la cantidad de luz que una superficie emite o refleja en una dirección específica [36]. Con un sistema óptico preciso, este equipo puede enfocar áreas determinadas sobre su detector, lo que permite evaluar superficies pequeñas con un ángulo de aceptación limitado.



Figura 26: Luminancímetro

*Fuente:* [36]

### 1.8.3. Espectrómetro

El espectrómetro es un dispositivo utilizado para analizar la luz en una parte del espectro electromagnético (ver Figura 27) [37]. Su principal función es medir la intensidad de la luz y, en algunos casos, otros aspectos como la polarización. Es clave para dividir la luz en distintas longitudes de onda, proporcionando información detallada sobre la fuente luminosa.



Figura 27: Espectrómetro

*Fuente:* [37]

### 1.8.4. Resumen de magnitudes y unidades luminosas

Instrumento	Magnitud	Definición	Unidad
Luxómetro	Iluminancia	Cantidad de luz que incide sobre una superficie.	Lux (lx)
Luminacímetro	Luminancia	Cantidad de luz reflejada o emitida por una superficie en una dirección dada.	Candela por metro cuadrado (cd/m <sup>2</sup> )
Espectrómetro	Espectro luminoso	Distribución de la luz en función de las longitudes de onda.	Nanómetros (nm)

Tabla 2: Resumen de Magnitudes y Unidades Luminosas

## Capítulo 2

### 2. Normativas y Regulaciones

En este capítulo se abordan las principales normativas que regulan el diseño, implementación y evaluación del alumbrado público fotovoltaico. Estas normativas permiten establecer parámetros técnicos que aseguran la eficiencia, seguridad, sostenibilidad y calidad del servicio de iluminación en espacios públicos. Para el presente estudio se consideran tres normativas fundamentales: la Regulación Nro. ARCERNNR 007/23, de carácter nacional; el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), utilizado en Colombia y considerado como referencia técnica; y la norma internacional CIE 140:2019, empleada ampliamente para el diseño y evaluación fotométrica de sistemas de alumbrado vial.

#### 2.1. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR 007/23)(NN)

La normativa define las obligaciones y directrices técnicas para gestionar, mantener y ampliar los sistemas de alumbrado público, con especial énfasis en la colaboración con las autoridades locales, ministerios y cuerpos de seguridad, entre otros [38].

##### 2.1.1. Vías para circulación vehicular

El alumbrado de vías para tráfico motorizado se clasifica en seis niveles, de M1 a M6, según la Ecuación 1.2 que considera el valor  $V_{pM}$ , resultado de la suma de factores ponderados definidos en la Tabla 3. Esta fórmula permite asignar la clase correspondiente en función de las características de la vía [38].

$$M = \left(6 - \sum V_{pM}\right) \quad (1.2)$$

Donde:

- **M**: Clase de iluminación, va de M1 a M6.
- $\sum V_{pM}$ : Sumatoria de los valores de ponderación ( $V_{pM}$ ) seleccionados como se indica en la tabla 3.

Parámetros	Opciones	$V_{pM}$
Velocidad	Muy alta, $V_c \geq 100$ km/h	1.0
	Alta, $70 < V_c < 100$ km/h	0.5
	Moderada, $40 < V_c \leq 70$ km/h	0.0
Volumen del tráfico	Muy alto	1.0
	Alto	0.5
	Moderado	0.0
	Bajo	-0.5
	Muy bajo	-1.0
Composición de tráfico	Mixto (no motorizado - alto porcentaje)	2.0
	Mixto	1.0
	Solo motorizado	0.0
Separación de vías	No	1.0
	Sí	0.0
Intersección (densidad)	Alta	1.0
	Moderada	0.0
Estacionamiento para vehículos	Sí	0.5
	No	0.0
Iluminación ambiental	Alta	1.0
	Moderada	0.5
	Baja	-1.0
Guías visuales	Pobre	0.5
	Moderado o bueno	0.0

Tabla 3: Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (M)

Para la selección de la clase tipo M correspondiente a la calle Elia Liut, es necesario considerar las ponderaciones establecidas según la tipología vial.

Ponderaciones de los parámetros correspondientes a la calle Elia Liut para la selección de tipo de clase.

- Al tratarse de una vía urbana, la velocidad permitida es de 50 km/h (véase anexo 5), por lo que su ponderación es 0.
- El volumen de tráfico se clasifica como moderado, asignándole una ponderación de 0.
- La composición del tráfico es mixta (circulan todo tipo de vehículos), con una ponderación de 1.
- Existe separación entre los carriles, lo que corresponde a una ponderación de 0.
- Se observa una alta densidad de intersecciones, debido a la presencia de zonas comerciales, industriales y una universidad, con ponderación 1.
- No hay espacios de estacionamiento en la calle Elia Liut, por lo que su ponderación es 0.
- La iluminación ambiental es baja, lo que implica una ponderación de  $-1$ .
- Las guías visuales son deficientes, asignándoseles una ponderación de 0,5.

Aplicando la Ecuación 1.2, se obtuvo un valor de  $M = 4,5$ . Conforme al criterio de selección establecido, se aproxima al menor valor entero de la sumatoria, por lo que se adopta  $M = 4$ . Al consultar la Tabla 4, se determina que la clasificación correspondiente para la Av. Elia Liut es clase M4. Esta clasificación implica valores normativos promedio de luminancia en el rango de 0.75 a 1.

Clase M	L prom (cd/m <sup>2</sup> )	Uo mín.	TI % máx. inicial	UL mín.	SR mín.
1	2 – 2.4	0.4	10	0.7	0.5
2	1.5 – 1.8	0.4	10	0.7	0.5
3	1 – 1.2	0.4	15	0.6	0.5
4	0.75 – 1	0.4	15	0.6	0.5
5	0.5 – 0.75	0.35	15	0.4	0.5
6	0.3 – 0.5	0.35	20	0.4	0.5

Tabla 4: Requisitos para clases M de alumbrado vial

### 2.1.2. Vías de circulación peatonal

Las clases de alumbrado tipo P están diseñadas para garantizar una visibilidad adecuada a peatones en aceras y a ciclistas en ciclovías, bermas, carriles de estacionamiento y otras áreas adyacentes o paralelas a vías vehiculares. Estas clases, que van de P1 a P6, se utilizan para definir las especificaciones del alumbrado peatonal, siendo su clasificación determinada mediante la Ecuación 1.3 [38].

$$P = \left(6 - \sum V_{pP}\right) \quad (1.3)$$

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación [ $V_p$ ]
<b>Velocidad de desplazamiento</b>	Baja, $6 < v \leq 40$ [km/h]	1
	Muy baja, velocidad de caminar $v \leq 6$ [km/h]	0
<b>Volumen del Tráfico</b>	Muy alto, tránsito superior a 480 peatones y/o ciclistas por hora	1
	Alto, tránsito entre 300 y 480 peatones y/o ciclistas por hora	0.5
	Moderado, tránsito entre 121 y 299 peatones y/o ciclistas por hora	0
	Bajo, tránsito entre 60 y 120 peatones y/o ciclistas por hora	-0.5
	Muy bajo, tránsito menor a 60 peatones y/o ciclistas por hora	-1
<b>Composición de Tráfico</b>	Mezcla entre peatones, ciclistas y tránsito motorizado	2
	Mezclado entre peatones y tránsito motorizado	1
	Mezclado entre peatones y ciclistas	1
	Solamente peatones	0
	Solamente ciclistas	0
<b>Vehículos Parqueados</b>	Se permite	0.5
	No se permite	0
<b>Iluminación Ambiental</b>	Alta	1
	Moderada	0
	Baja	-1

Tabla 5: Parámetros para la selección de la clase de alumbrado tipo (P)

El parámetro velocidad de desplazamiento se basa en el límite permitido. Si no hay límite y circulan vehículos motorizados o bicicletas, se usa la categoría baja; si no hay vehículos motorizados, se aplica la categoría muy baja o velocidad de caminata.

La calle Elia Liut presenta las siguientes ponderaciones.

- La velocidad de desplazamiento se considera baja, por lo que se asigna una ponderación de 1.
- El volumen de tráfico es moderado, lo cual corresponde a una ponderación de 0.
- La composición del tráfico incluye peatones, ciclistas y tránsito motorizado, por lo que se asigna una ponderación de 2.
- En la calle Elia Liut no existen zonas de parqueo, por lo tanto, no se permiten vehículos estacionados, lo que implica una ponderación de 0.
- La iluminación ambiental es baja, por lo que se aplica una ponderación de -1.

Aplicando la Ecuación 1.3, se obtuvo un valor de  $P=4$ . Por lo tanto, al remitirse a la Tabla 6, se determina que la calle Elia Liut, al contar con alumbrado tipo P destinado a peatones, ciclistas y carriles de estacionamiento, corresponde a la clase P4. Esta clasificación implica valores normativos promedio de iluminancia de 7,5 luxes para vías de circulación peatonal.

<b>Clase P</b>	<b><i>E</i> (lux) promedio</b>	<b><i>E</i> (lux) mínimo - máximo</b>	<b>Valor vertical</b>	<b>Valor semicilíndrica</b>
1	15	3 - 18	5	3
2	10	2 - 12	3	2
3	7,5	1,5 - 9	2,5	1,5
4	5	1 - 7,5	1,5	1
5	3	0,6 - 5	1	0,6
6	2	0,4 - 3	0,6	0,4

Tabla 6: Requisitos de iluminación para tráfico peatonal

## 2.2. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)(NI)

Esta norma establece los requisitos técnicos y de seguridad que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público en el país [39]. Fue creada con el fin de asegurar que los sistemas de iluminación proporcionen un servicio eficiente, seguro, y de calidad, además de promover el uso responsable de la energía.

### 2.2.1. Vías para circulación vehicular

La clasificación del sistema de iluminación vial se determina con base en parámetros específicos inherentes a las características de la vía, siendo los más determinantes la velocidad de desplazamiento permitida y la densidad del flujo vehicular [39]. A partir del análisis de estas variables, se establece el tipo de iluminación más adecuado conforme a la Tabla 7.

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

Tabla 7: Clases de iluminación para vías vehiculares

La avenida Elia Liut, aunque corresponde a una vía de menor jerarquía dentro de una zona urbana, se clasifica según la Tabla 7 como tipo M3, debido a que la velocidad permitida para los vehículos es de 50 km/h, tal como se indica en el anexo 5 .

### 2.2.2. Especificaciones de iluminación para vías de circulación vehicular

Una vez que se conocen las características de las vías y las necesidades visuales, se debe elegir la clase de iluminación adecuada. A cada clase le corresponden ciertos niveles mínimos de luz que deben mantenerse con el tiempo. Estos niveles están resumidos en la Tabla 8, que muestra los valores para luminancia cuando se usa ese criterio. Los datos se consideran para superficies secas.

Clase de iluminación	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio $L_{prom}$ (cd/m <sup>2</sup> ) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad $U_o$ Mínimo	Incremento de umbral de umbral TI % Máximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia $U_l$ Mínimo	Relación de alrededores $SR$ Mínimo
M1	2.0	0.4	10	0.5	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.5	0.5
M3	1.2	0.4	15	0.5	0.5
M4	0.8	0.4	15	N.R.	N.R.
M5	0.6	0.4	15	N.R.	N.R.

Tabla 8: Requisitos fotométricos de luminancia para vías de tránsito vehicular

Al clasificarse como tipo M3, la normativa establece que deben cumplirse valores normativos promedio de luminancia de 1,2 cd/m<sup>2</sup>, tal como se indica en la Tabla 8. Este valor corresponde al nivel mínimo requerido para garantizar condiciones adecuadas de visibilidad y seguridad en vías de circulación vehicular.

### 2.2.3. Vías para tráfico peatonal y ciclovía

La iluminación en estas zonas debe asegurar que tanto peatones como ciclistas puedan identificar claramente la textura y el diseño del pavimento, así como la disposición de bordillos, escalones, marcas y señales. Además, debe contribuir a prevenir situaciones de riesgo o agresiones mientras se desplazan por estas áreas. En la Tabla 9 se muestran las siete categorías de iluminación correspondientes a

distintos tipos de vías peatonales [39].

Clase de iluminación	Descripción de la calzada
P1	Vías de muy elevado prestigio urbano.
P2	Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas
P3	Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas
P4	Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes
P5	Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.
P6	Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente
P7	Vías en donde únicamente se requiere una guía visual suministrada por la luz directa de las luminarias

Tabla 9: Clases de iluminación para diferentes descripciones de calzada

El prestigio de una vía está relacionado con la necesidad de crear un ambiente atractivo. Para las clases de iluminación P2 a P5, el nivel de iluminación depende del uso que le den los peatones. Las clases P5 a P7 solo deben usarse en lugares donde sea poco probable que ocurran delitos cuando no hay luz. Las categorías de alumbrado indicadas en la Tabla 9 consideran toda el área que se usa, incluyendo la acera y la calzada si existe. Si en alguna zona se identifica un aumento en la delincuencia o se requiere una mejor visibilidad para reconocer personas, objetos u obstáculos, se puede elegir una clase de iluminación que sea uno o dos niveles más alta que la indicada por la tabla [39].

En consecuencia, se asigna la clase P3 a la Av. Elia Liut, considerando que presenta una utilización nocturna moderada por parte de peatones, principalmente estudiantes, y ciclistas.

#### 2.2.4. Especificaciones de iluminación para zonas peatonales y ciclovías.

En la tabla 10 presenta los valores mínimos de iluminación horizontal recomendados para el tráfico peatonal, clasificados en diferentes clases de iluminación (P1 a P7). Para cada clase, se especifica un valor promedio y un valor mínimo de iluminación en lux que deben mantenerse sobre toda la superficie utilizada. Estos niveles

garantizan una visibilidad adecuada y seguridad para los peatones en distintos entornos y condiciones de uso. La clase P7 indica que no aplica un requisito específico de iluminancia. Esta tabla es fundamental para diseñar sistemas de alumbrado público que cumplan con los estándares de confort visual y seguridad peatonal [39].

Clase de iluminación	Iluminancia Horizontal (luxes)	
	Valor promedio	Valor mínimo
P1	20,0	7,5
P2	10,0	3,0
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	1,5	0,2
P7	No aplica	No aplica

Tabla 10: Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal

Al establecerse que la vía corresponde a la clase P3, se especifica que debe cumplir con un valor normativo promedio de iluminancia de 7.5 lux y un valor mínimo de 1.5 lux, conforme a lo indicado en la Tabla 10.

### 2.3. Comisión Internacional de Iluminación (CIE 140:2019)

La norma CIE 140:2019 establece niveles adecuados de luminancia y uniformidad, previene el deslumbramiento y promueve la iluminación eficiente. Además, aborda la iluminación en áreas peatonales y zonas de transición, con el objetivo de mejorar la seguridad vial y el confort visual, mientras se optimiza el consumo energético [40].

#### 2.3.1. Calzada

La zona de cálculo debe ubicarse en el tramo representativo de la vía que resulta relevante para el conductor. Esta área debe estar limitada lateralmente por los bordes de la calzada y, longitudinalmente, por las líneas que conectan dos luminarias consecutivas. En configuraciones donde las luminarias se disponen de forma alternada, estas deberán instalarse en lados opuestos de la vía [40].

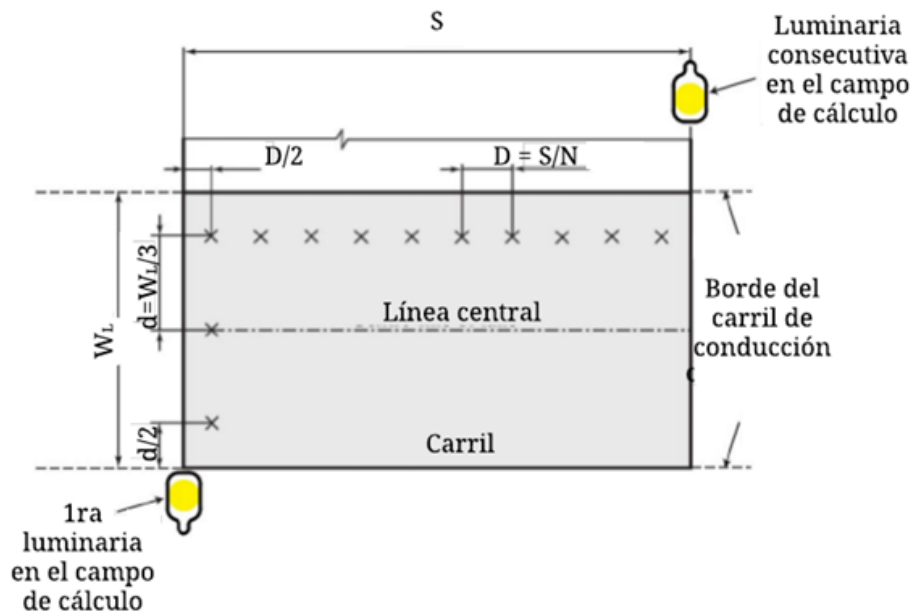


Figura 28: Punto de cálculo

**Fuente:** [40]

Los puntos utilizados para el cálculo deben distribuirse de manera uniforme dentro del área definida, y su cantidad debe establecerse en función de cada carril de circulación, como se muestra en la figura 28.

**a) En sentido longitudinal**

Para determinar la separación entre puntos en la dirección longitudinal, se utiliza la Ecuación 1.4 [40]:

$$D = \frac{S}{N} \quad (1.4)$$

donde:

- $D$ : distancia entre puntos en el eje longitudinal (en metros).
- $S$ : separación entre luminarias (en metros).
- $N$ : número de puntos de cálculo en esa dirección, definido de la siguiente manera:
  - Si  $S \leq 30$  m: se toma  $N = 10$ .
  - Si  $S > 30$  m:  $N$  es el entero más pequeño tal que  $D \leq 3$  m.

Además, la primera fila de puntos de cálculo se ubica a una distancia de  $D/2$  más allá de la primera luminaria.

#### b) En sentido transversal

La separación entre puntos en la dirección transversal se calcula con la siguiente expresión (ver Ecuación 1.5) [40]:

$$d = \frac{W_L}{3} \quad (1.5)$$

donde:

- $d$ : distancia entre puntos en el eje transversal (en metros).
- $W_L$ : ancho del carril de circulación (en metros).

Los puntos de cálculo ubicados en los bordes del carril se sitúan a una distancia de  $D/2$  en la dirección longitudinal y a  $d/2$  en la transversal, tal como se muestra en la figura 28.

### 2.3.2. Aceras y ciclovías

El área de cálculo debe corresponder a una sección representativa de la calzada o ciclovía, relevante para el tránsito peatonal o ciclista. Al igual que en el caso de la calzada, este espacio debe estar limitado lateralmente por los bordes y longitudinalmente por líneas que conectan luminarias consecutivas.

Los puntos de evaluación deben distribuirse de forma regular dentro de esta zona (ver figura 28, que muestra un carril de circulación), y su cantidad se determina de la siguiente forma [40]:

- **Dirección longitudinal:** Si las vías peatonales o los carriles destinados a bicicletas comparten la misma configuración de alumbrado que la calzada, podrán incluirse en el cálculo de la separación longitudinal de los puntos de evaluación junto con esta. En caso contrario, deberá aplicarse lo establecido en el apartado 2.3.1, sección a), considerando la disposición específica de alumbrado de dichos elementos.
- **Dirección transversal:** La distancia entre puntos en esta dirección se determina con la siguiente expresión (ver Ecuación 1.6):

$$d_x = \frac{W_F}{n} \quad (1.6)$$

donde:

- $d_x$ : distancia entre puntos en dirección transversal (m),
- $W_F$ : ancho de la calzada o ciclovía (m),
- $n$ : número de puntos en sentido transversal, determinado como:
  - Si  $W_F \leq 1,0\text{ m}$ , entonces  $n = 1$ ,
  - Si  $W_F > 1,0\text{ m}$ , se selecciona el menor valor de  $n$  que mantenga  $d_x \leq 1,0\text{ m}$ .

Los puntos más cercanos al borde de la calzada o ciclovía deben ubicarse a la mitad de la distancia establecida. En el caso de que  $n=1$ , el punto se sitúa en el centro del carril o calzada.

## **2.4. Real Decreto 1890/2008 (ESPAÑA).- Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07**

El nivel de iluminación hace referencia al conjunto de parámetros luminotécnicos o fotométricos como la luminancia, iluminancia, uniformidad, control del deslumbramiento y relación con el entorno que determinan la calidad lumínica de una instalación. En el ámbito del alumbrado vial, este concepto se asocia a la clase de alumbrado. La luminancia o iluminancia media no podrá exceder en más de un 20 % los valores de referencia. Dichos valores se fundamentan en la serie de normas UNE-EN 13201 sobre iluminación de carreteras y no constituyen mínimos exigidos por este reglamento. Además, se deberá cumplir con la uniformidad mínima establecida [41].

### **2.4.1. Alumbrado vial**

La iluminación necesaria en una vía está determinada por su categoría, la complejidad del trazado, el volumen e infraestructura de control del tráfico, así como la separación entre carriles para diferentes tipos de usuarios. Las vías se dividen en distintos grupos o situaciones de proyecto, a cada uno de los cuales se le asignan requisitos fotométricos particulares que consideran tanto las demandas visuales de los usuarios como las condiciones medioambientales del entorno [41]. La clasificación

de las vías se fundamenta principalmente en la velocidad de circulación, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 11.

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	De alta velocidad	$v > 60$
B	De moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	Carriles bici	—
D	De baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	Vías peatonales	$v \leq 5$

Tabla 11: Clasificación de vías según tipo y velocidad del tráfico

#### 2.4.2. Clases de alumbrados

Tomando en cuenta criterios como el tipo de vía y la intensidad media de tráfico diario (IMD), se determinan subcategorías dentro de la clasificación mencionada. En las Tablas 12 y 13 se especifican las clases de alumbrado para cada situación de proyecto (C, D y E), de acuerdo con la clasificación de vías presentada previamente en la Tabla 11; en este caso, se incluyen las tres situaciones de proyecto considerando el enfoque de la investigación, que son aceras, ciclovías y vías de baja velocidad [41].

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado
C1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas.</li> </ul> Flujo de tráfico de ciclistas Alto Normal	S1 / S2
		S3 / S4
D1 - D2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías.</li> <li>– Aparcamientos en general.</li> <li>– Estaciones de autobuses.</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones Alto Normal	CE1 / CE2
		CE3 / CE4
D3 - D4	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada.</li> <li>– Zonas de velocidad muy limitada.</li> </ul> Flujo de tráfico de peatones y ciclistas Alto Normal	CE2 / S1 / S2
		S3 / S4

Tabla 12: Clases de alumbrado para via tipo C y D

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado
<b>E1</b>	– Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada. – Paradas de autobús con zonas de espera. – Áreas comerciales peatonales. Flujo de tráfico de peatones	
	Alto Normal	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4
<b>E2</b>	– Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones. Flujo de tráfico de peatones	
	Alto Normal	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4

Tabla 13: Clases de alumbrado para via tipo E

### 2.4.3. Niveles de iluminación

Para cada situación de proyecto y nivel de intensidad de tráfico, cuando existan varias opciones de clases de alumbrado, la elección se realizará considerando factores como la complejidad del diseño vial, la gestión del tráfico, la segregación de diferentes usuarios y otros criterios específicos [41]. En la Tabla 14 y 15 se presentan los requisitos fotométricos que corresponden a las clases de alumbrado serie S y serie CE aplicables a vías de tipo C, D y E, el cual se enfoca en ciclovías, vías de baja velocidad y aceras.

Clase de Alumbrado	Iluminancia Media $E_m$ (lux)	Iluminancia Mínima $E_{min}$ (lux)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1

Tabla 14: Serie S del Nivel de iluminación tipo C, D y E

Clase de Alumbrado	Iluminancia Media $E_m$ (lux) [mínima mantenida]	Uniformidad Media $U_m$ [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

Tabla 15: Serie CE del Nivel de iluminacion tipo D Y E

#### 2.4.4. Niveles de iluminación de zonas especiales de viales

Se considera que un tramo vial presenta características especiales cuando existen condiciones que dificultan la visibilidad o exigen maniobras específicas por parte de los conductores. Este tipo de zonas incluye, entre otras, intersecciones y enlaces, glorietas o rotondas, sectores donde se reduce el número o el ancho de los carriles, curvas cerradas o tramos sinuosos en pendiente, áreas de incorporación de nuevos carriles y pasos inferiores [41].

En los carriles-bici o zonas peatonales (vías del tipo C o E), no se consideran zonas especiales específicas. Para estos espacios se tendrán en cuenta los siguientes criterios [41]:

- **Criterio de luminancia:** Cuando la zona especial forme parte de una vía de tipo A o B, se aplicarán los niveles basados en la luminancia de la superficie de la calzada según la serie de ME, tal como se muestra en la Tabla 16. En este caso, la clase de alumbrado asignada a la zona especial será un grado superior al de la vía correspondiente. Si en una zona especial confluyen varias vías, como en cruces, la clase de alumbrado será un grado superior al de la vía con la clase de alumbrado más alta.
- **Criterio de iluminancia:** Si la zona especial pertenece a una vía tipo D no es posible aplicar el criterio de luminancia debido a que la distancia de visión es inferior a 60 metros (valor mínimo para el cálculo de luminancia), y no se puede situar adecuadamente al observador debido a la complejidad o sinuosidad de la zona vial, se aplicará el criterio de iluminancia. Los niveles de iluminación corresponderán a la serie CE de clases de alumbrado de la Tabla 15. Entre las clases CE1 y CE0 se podrá adoptar un nivel intermedio de iluminancia.

Clase de Alumbrado	Luminancia Media $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	Uniformidad Global $U_o$ [mínima]	Uniformidad Longitudinal $U_l$ [mínima]	Incremento Umbral TI (%) [máximo]	Relación Entorno SR [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

Tabla 16: Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipos A y B

## Capítulo 3

### 3. Levantamiento y registro de datos del sistema de alumbrado público fotovoltaico existente en la calle Elia Liut, Cuenca

En este apartado se presenta el plan de recolección de datos lumínicos correspondiente a la calle Elia Liut, con el propósito de comparar los niveles de iluminancia registrados con los valores establecidos en normativas nacionales e internacionales, y así determinar el grado de cumplimiento del sistema de alumbrado respecto a los estándares vigentes. La metodología se estructura bajo un protocolo de adquisición de datos que incluye la zonificación del área de estudio, la aplicación de métodos de medición estandarizados y la creación de una base de datos para el procesamiento, verificación y análisis de los resultados obtenidos.

#### 3.1. Área de estudio

##### 3.1.1. Calle Elia Liut - Cuenca

La calle Elia Liut se encuentra en la ciudad de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador. Esta avenida presenta un alto flujo vehicular y peatonal, especialmente por parte de estudiantes, ya que en las inmediaciones de la Calle Vieja se encuentra la Universidad Politécnica Salesiana. Además, en el extremo opuesto, sobre la Avenida España, se localiza el Aeropuerto Mariscal La Mar, lo que refuerza su importancia como eje de movilidad en la ciudad. El análisis se desarrolla sobre un segmento específico de esta avenida, cuyas coordenadas geográficas están referenciadas en el sistema WGS84. Los puntos extremos considerados presentan las siguientes coordenadas:

- **Punto inicial:**  $(-2,888902, -78,987239)$
- **Punto final:**  $(-2,887004, -78,989276)$

El estudio contempla dos tramos diferenciados a lo largo de la avenida, detallados a continuación:

- **Tramo 1:** Desde la intersección con la Av. España hasta la Gil Ramírez Dávalos.
- **Tramo 2:** Desde la Gil Ramírez Dávalos hasta la Calle Vieja.

En total, se identifican tres intersecciones principales dentro del área de análisis. La figura 29 muestra la ubicación de los tramos e intersecciones a evaluar.

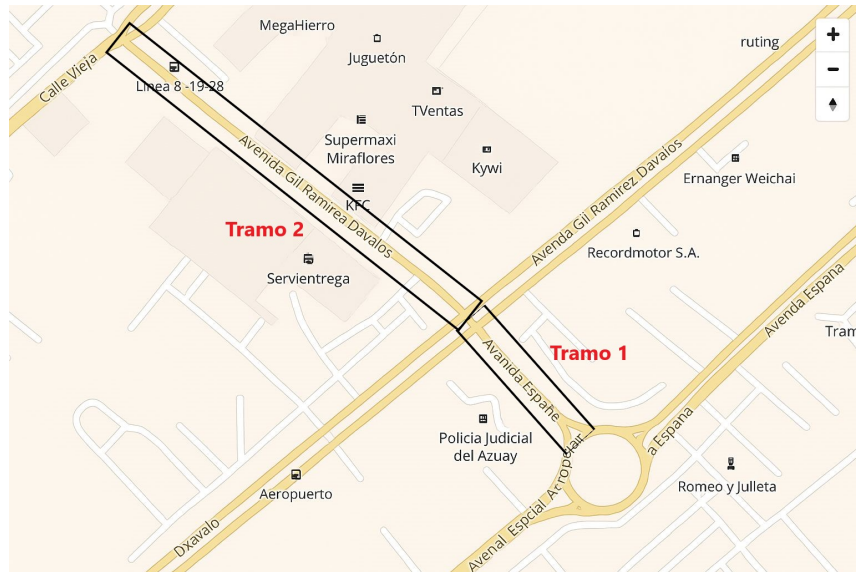


Figura 29: Ubicación geográfica de la calle Elia Liut

*Fuente:* Google maps

A continuación, en las Figuras 30 y 31, se muestra el estado actual de la calle con el sistema de alumbrado fotovoltaico (SFA). Las luminarias fueron seleccionadas mediante un estudio técnico que consideró aspectos fotométricos, criterios de eficiencia energética y el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales.



Figura 30: Tramo 1 con el SFA

*Fuente:* Autores



Figura 31: Tramo 2 con el SFA

*Fuente:* Autores

Como se aprecia en las Figuras 30 y 31, la vía presenta un nivel de iluminación que evidencia una eficiencia lumínica adecuada. La avenida cuenta con aceras pavimentadas en concreto y una calzada revestida de asfalto. Adicionalmente, la ruta de ciclovía se encuentra adyacente al sector donde está instalado el SFA, lo que permite garantizar condiciones de visibilidad segura para peatones como para ciclistas.

### 3.1.2. Levantamiento de información del área de estudio

Se llevó a cabo un levantamiento de inventario del Sistema de Alumbrado Foto-voltaico (SFA) instalado en la calle Elia Liut. Esta actividad incluyó la identificación y el registro sistemático de las características físicas y técnicas de cada punto de iluminación, considerando el tipo y la potencia de las luminarias, la altura de los postes, la distancia entre luminarias, el estado físico de los equipos y el número total de postes distribuidos a lo largo del tramo evaluado (ver Tabla 17).

Nº Poste	Tipo de Luminaria	Potencia (W)	Altura del Poste (m)	Distancia al siguiente poste (m)	Estado Físico
<b>Tramo 1</b>					
1	LED	60	6	17,5	Bueno
2	LED	60	6	17,5	Bueno
3	LED	60	6	19	Bueno
4	LED	60	6	–	Bueno
<b>Tramo 2</b>					
5	LED	60	6	20,5	Bueno
6	LED	60	6	20,1	Bueno
7	LED	60	6	16,8	Bueno
8	LED	60	6	16,6	Bueno
9	LED	60	6	15,3	Bueno
10	LED	60	6	17,8	Bueno
11	LED	60	6	17,2	Bueno
12	LED	60	6	21,9	Bueno
13	LED	60	6	19,8	Bueno
14	LED	60	6	18,3	Bueno
15	LED	60	6	–	Bueno

Tabla 17: Inventario de SFA - Elia Liut

Esta información permitió caracterizar la configuración actual del sistema y sirvió como base para la planificación de las mediciones de campo.

## 3.2. Procedimiento de medición en campo

Se describe el procedimiento utilizado para la ubicación de los puntos de medición en campo, detallando el método empleado para la obtención de datos en aceras y ciclovías, conforme a lo establecido por la normativa vigente.

Es importante mencionar que se clasificó en Tramo 1 y Tramo 2 debido a que el ancho de la acera es diferente en cada tramo. Esta diferencia resulta clave para determinar la cantidad de puntos de cálculo a lo largo de la malla.

### 3.2.1. Tramo 1

El tramo 1 está compuesto por 4 postes con luminarias tipo SFA, cuyas separaciones se detallan en el inventario previamente elaborado (ver Tabla 17). Para determinar la cantidad de puntos de cálculo tanto en sentido longitudinal como transversal, se aplicará lo establecido en la sección 2.3 de las normativas, correspondiente a aceras y ciclovías.

Entonces:

- Al revisar la Tabla 17, se observa que todos los tramos presentan longitudes menores a 30 metros. Esto cumple con la condición: “ si  $S \leq 30$  m, se toma  $N = 10$  PC ”. Por lo tanto, se establece que  $N = 10$  PC en el eje longitudinal.
- Ahora para el sentido transversal se realiza el siguiente cálculo:

Dado que la anchura  $W_F = 5$  m y según la condición:

- Si  $W_F > 1,0$  m, entonces se elige el menor número entero  $n$  tal que:

$$\frac{W_F}{n} \leq 1,0 \text{ m.}$$

$$\frac{5}{n} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad n \geq 5$$

Por lo tanto, el valor de  $n$  es:

$$n = 5$$

Una vez realizado el cálculo, se obtuvo un total de 5PC en el sentido transversal, lo que dio como resultado 14 PC distribuidos a lo largo de toda la acera, es decir, en toda la malla correspondiente al tramo 1.1. La Figura 32 muestra en detalle la distribución de estos puntos en la malla. De igual manera, se realizó el análisis correspondiente para la ciclovía, obteniéndose un total de 11 PC.

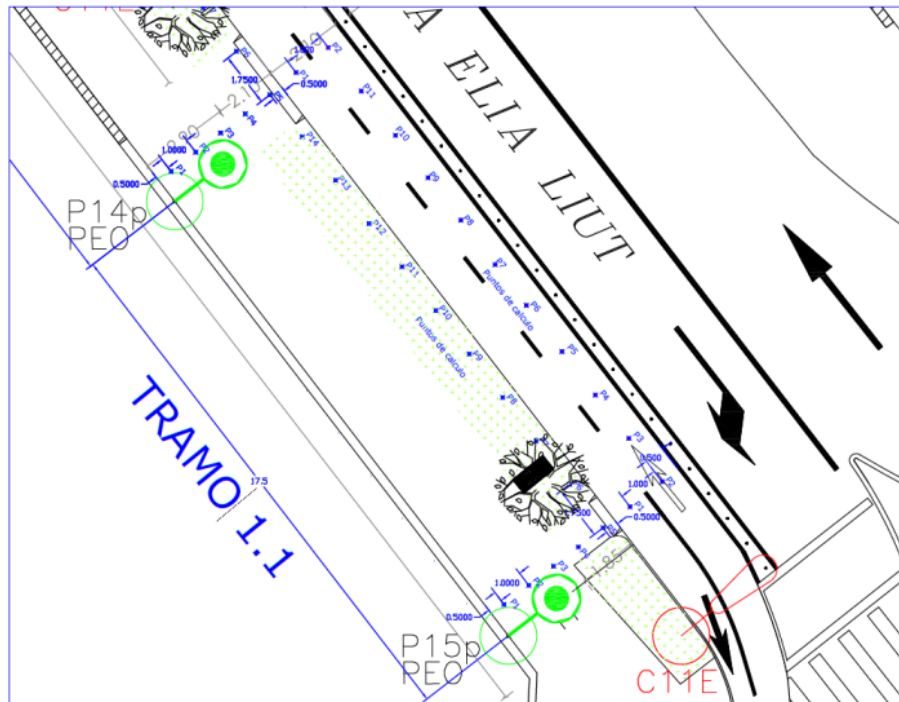


Figura 32: Distribución de PC - Tramo 1.1

*Fuente:* Autores

### 3.2.2. Tramo 2

El tramo 2 está compuesto por 11 postes con luminarias tipo SFA, cuyas separaciones se detallan en el inventario previamente elaborado (ver Tabla 17). Para determinar la cantidad de puntos de cálculo tanto en sentido longitudinal como transversal, se aplicará lo establecido en la sección 2.3 de las normativas, correspondiente a aceras y ciclovías.

Entonces:

- Al revisar la Tabla 17, se observa que todos los tramos presentan longitudes menores a 30 metros. Esto cumple con la condición: “si  $S \leq 30$  m, se toma  $N = 10$  PC”. Por lo tanto, se establece que  $N = 10$  PC en el eje longitudinal.

- Ahora para el sentido transversal se realiza el siguiente cálculo:

Dado que la anchura  $W_F = 4$  m y según la condición:

- Si  $W_F > 1,0$  m, entonces se elige el menor número entero  $n$  tal que:

$$\frac{W_F}{n} \leq 1,0 \text{ m.}$$

$$\frac{4}{n} \leq 1 \Rightarrow n \geq 4$$

Por lo tanto, el valor de  $n$  es:

$$n = 4$$

Una vez realizado el cálculo, se obtuvo un total de 4 PC en el sentido transversal, lo que dio como resultado 13 PC distribuidos a lo largo de toda la acera, es decir, en toda la malla correspondiente al tramo 2. La Figura 33 muestra en detalle la distribución de estos puntos en la malla. De igual manera, se realizó el análisis correspondiente para la ciclovía, obteniéndose un total de 11 PC.

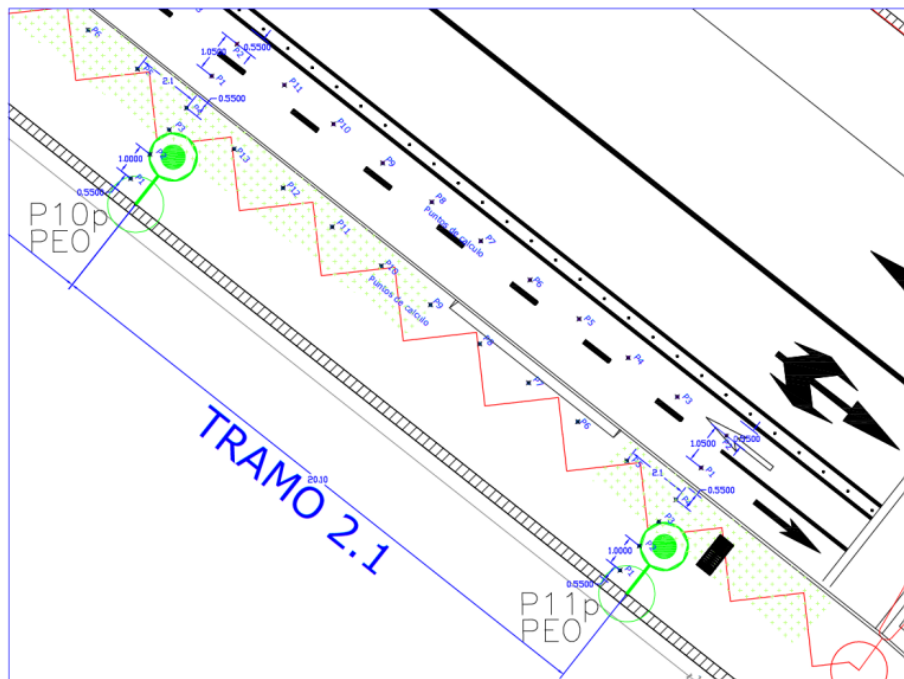


Figura 33: Distribución de PC - Tramo 2.1

*Fuente:* Autores

Remítase al Anexo 2 para una visualización completa y detallada de la distribución de los puntos de cálculo correspondientes a los tramos 1 y 2.

### 3.3. Obtención de datos lumínicos existentes

Se recopilarán los datos necesarios a partir de mediciones de campo, investigaciones académicas y normativas existentes. Estas mediciones se realizarán en distintos puntos de la calle, tanto en la ciclovía como en las aceras. Las mediciones se realizarán en horario nocturno, específicamente a las 19:30 y 21:30, con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema de iluminación bajo distintas condiciones operativas.

La selección de estos horarios se fundamenta en el funcionamiento programado del sistema: desde el momento en que se enciende (aproximadamente entre las 18:30h y 19:00h), opera al 100 % durante tres horas, hasta las 21:30h. A partir de esa hora, reduce su intensidad al 50 % durante dos horas, es decir, entre las 21:30h y las 23:30h; posteriormente, funciona al 20 % durante cinco horas, desde las 23:30h hasta las 04:30h, y finalmente vuelve al 50 % por dos horas más, entre las 04:30h y las 06:30h, tal como se muestra en el datasheet de la luminaria (véase anexo 3). Esta reducción en la intensidad luminosa será verificada mediante los valores obtenidos en las mediciones. No obstante, el análisis se enfocará únicamente en dos momentos clave: al inicio del encendido, cuando el sistema opera al 100 %, y a las 21:30h, cuando reduce su capacidad al 50 %.

La columna NI corresponde a los niveles de iluminancia establecidos por la normativa RETILAP, mientras que la columna NN se refiere a los valores definidos por la normativa ARCERNNR. Estos valores se incluyen únicamente como referencia comparativa, representando los niveles promedio aceptables según cada normativa. Cabe señalar que su presencia en esta sección no implica un análisis de cumplimiento; dicha evaluación se desarrollará en la sección de resultados, donde se verificará si las mediciones realizadas cumplen o no con los parámetros normativos.

Las mediciones de iluminancia se llevaron a cabo utilizando un luxómetro, el cual fue colocado directamente sobre la superficie del suelo en cada uno de los puntos de evaluación previamente definidos. El procedimiento consistió en posicionar el sensor de forma estable y perpendicular al plano de medición, esperando a que la lectura se estabilizara antes de registrar los valores obtenidos.

Adicionalmente, se midió el nivel de luminancia mediante un luminancímetro ubicado a una altura de 1.5 metros desde el nivel del suelo, con el propósito de simular la línea de visión de un peatón. La ubicación del equipo se estableció fuera de la malla de medición, conforme a lo indicado en la normativa vigente, permitiendo así una visual completa de todos los puntos evaluados.

### 3.3.1. Iluminancia - acera

- Acera - tramo 1.1

Hora: Puntos	19:30	21:30	NI	NN
	E(lux)			
P1	93,5	56,1	7,5	5
P2	105,1	73,9	7,5	5
P3	85	67,5	7,5	5
P4	91,8	60,3	7,5	5
P5	112	75,6	7,5	5
P6	74,6	53,8	7,5	5
P7	88	60,2	7,5	5
P8	44,4	34	7,5	5
P9	58,7	53,2	7,5	5
P10	50,3	37,2	7,5	5
P11	55,1	36,4	7,5	5
P12	60,9	39	7,5	5
P13	67,8	46	7,5	5
P14	70,2	46,3	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>75,5286</b>	<b>52,8214</b>		

Tabla 18: Acera - tramo 1.1

- Acera - tramo 1.2

Hora: Puntos	19:30	21:30	NI	NN
	E(lux)			
P1	66,6	40,5	7,5	5
P2	70	43,8	7,5	5
P3	71,5	45,6	7,5	5
P4	69,5	50,1	7,5	5
P5	69	52,4	7,5	5
P6	73,2	55,4	7,5	5
P7	72,2	60	7,5	5
P8	62	31,8	7,5	5
P9	56	28,8	7,5	5
P10	61,2	38,4	7,5	5
P11	36,7	32,5	7,5	5
P12	78,5	67	7,5	5
P13	48,6	31,5	7,5	5
P14	43,5	23,8	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>62,75</b>	<b>42,9714</b>		

Tabla 19: Acera - tramo 1.2

- Acera - tramo 1.3

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b>E(lux)</b>			
P1	70,5	29,5	7,5	5
P2	52	27,2	7,5	5
P3	57,8	35,1	7,5	5
P4	50,8	31,7	7,5	5
P5	50	25,3	7,5	5
P6	54,8	29,3	7,5	5
P7	47,3	28,8	7,5	5
P8	44,3	29,7	7,5	5
P9	41,8	28,7	7,5	5
P10	43,2	28	7,5	5
P11	45,1	39,2	7,5	5
P12	49,5	43,9	7,5	5
P13	59	53,5	7,5	5
P14	69,8	62,5	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>52,5643</b>	<b>35,1714</b>		

Tabla 20: Acera - tramo 1.3

### 3.3.2. Iluminancia - ciclovía

- Ciclovía - tramo 1.1

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b>E(lux)</b>			
P1	111	89,5	7,5	5
P2	97,7	87,4	7,5	5
P3	80,4	68,9	7,5	5
P4	61,8	48,5	7,5	5
P5	44,4	37,6	7,5	5
P6	39	33,3	7,5	5
P7	50,4	36,6	7,5	5
P8	55,6	42,7	7,5	5
P9	62,7	43,8	7,5	5
P10	60,6	42,7	7,5	5
P11	64,4	47,2	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>66,2</b>	<b>52,6</b>		

Tabla 21: Ciclovía - tramo 1.1

- Ciclovía - tramo 1.2

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b>E(lux)</b>			
P1	70,4	54,1	7,5	5
P2	69,5	54,8	7,5	5
P3	69,4	56,4	7,5	5
P4	78,4	56,3	7,5	5
P5	57,8	48,5	7,5	5
P6	31,7	26,4	7,5	5
P7	34,4	24,6	7,5	5
P8	35,7	22,2	7,5	5
P9	67,7	58,4	7,5	5
P10	82,3	72,7	7,5	5
P11	79,7	65	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>61,55</b>	<b>49,04</b>		

Tabla 22: Ciclovía - tramo 1.2

- Ciclovía - tramo 1.3

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b>E(lux)</b>			
P1	46,8	42,2	7,5	5
P2	53,3	37,9	7,5	5
P3	27,3	24,4	7,5	5
P4	40,8	29,9	7,5	5
P5	27,5	28,5	7,5	5
P6	39,4	29,7	7,5	5
P7	44,4	35,1	7,5	5
P8	51,8	41,2	7,5	5
P9	60	47,4	7,5	5
P10	67,8	52,2	7,5	5
P11	74,8	58,8	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>48,5</b>	<b>38,8</b>		

Tabla 23: Ciclovía - tramo 1.3

En los anexos se presentan las mediciones de iluminancia del tramo 2, correspondientes a la acera y la ciclovía (véase Anexo 2).

### 3.3.3. Luminancia - acera

- Acera - tramo 1.1

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b><i>L</i> (cd/m<sup>2</sup>)</b>			
P1	3,53	1,76	1,2	0,75
P2	4,64	2,18	1,2	0,75
P3	4,42	2,16	1,2	0,75
P4	4,13	2,25	1,2	0,75
P5	4,28	3,85	1,2	0,75
P6	4,74	3,23	1,2	0,75
P7	7,36	4,87	1,2	0,75
P8	4,05	2,99	1,2	0,75
P9	4,12	3,5	1,2	0,75
P10	4,18	3,29	1,2	0,75
P11	4,34	3,35	1,2	0,75
P12	4,86	3,84	1,2	0,75
P13	4,33	3,17	1,2	0,75
P14	5,14	4,48	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,58</b>	<b>3,2086</b>		

Tabla 24: Acera - tramo 1.1

- Acera - tramo 1.2

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b><i>L</i> (cd/m<sup>2</sup>)</b>			
P1	2,91	1,4	1,2	0,75
P2	3,2	1,63	1,2	0,75
P3	3,38	1,84	1,2	0,75
P4	3,26	1,95	1,2	0,75
P5	3,38	1,27	1,2	0,75
P6	3,53	1,44	1,2	0,75
P7	3,6	2,69	1,2	0,75
P8	2,59	1,45	1,2	0,75
P9	2,51	2,04	1,2	0,75
P10	2,47	2,72	1,2	0,75
P11	1,54	1,52	1,2	0,75
P12	1,57	2,03	1,2	0,75
P13	2,42	1,25	1,2	0,75
P14	2,87	0,79	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,8021</b>	<b>1,7157</b>		

Tabla 25: Acera - tramo 1.2

- Acera - tramo 1.3

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b><i>L</i> (cd/m<sup>2</sup>)</b>			
P1	2,49	0,88	1,2	0,75
P2	2,45	0,96	1,2	0,75
P3	2,85	1,38	1,2	0,75
P4	1,19	0,72	1,2	0,75
P5	3,6	1,7	1,2	0,75
P6	3,33	1,73	1,2	0,75
P7	2,92	2	1,2	0,75
P8	3,47	2,45	1,2	0,75
P9	4,04	2,6	1,2	0,75
P10	3,14	2,11	1,2	0,75
P11	1,23	1,25	1,2	0,75
P12	1,36	0,96	1,2	0,75
P13	1,51	1,32	1,2	0,75
P14	1,77	0,99	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,525</b>	<b>1,5036</b>		

Tabla 26: Acera - tramo 1.3

### 3.3.4. Luminancia - ciclovía

- Ciclovía - tramo 1.1

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b><i>L</i> (cd/m<sup>2</sup>)</b>			
P1	4,38	2,25	1,2	0,75
P2	4,65	2,03	1,2	0,75
P3	4,02	1,47	1,2	0,75
P4	3,8	1,44	1,2	0,75
P5	2,23	1,16	1,2	0,75
P6	2,2	1,07	1,2	0,75
P7	2,88	1,65	1,2	0,75
P8	2,95	1,41	1,2	0,75
P9	3,82	1,97	1,2	0,75
P10	3,11	1,82	1,2	0,75
P11	3,13	2,21	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,3791</b>	<b>1,68</b>		

Tabla 27: Ciclovía - tramo 1.1

- Ciclovía - tramo 1.2

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b><i>L</i> (cd/m<sup>2</sup>)</b>			
P1	3,73	2,14	1,2	0,75
P2	3,78	1,34	1,2	0,75
P3	3,61	1,23	1,2	0,75
P4	4,05	1,26	1,2	0,75
P5	2,69	1,1	1,2	0,75
P6	1,59	0,86	1,2	0,75
P7	2,24	1,26	1,2	0,75
P8	1,69	0,88	1,2	0,75
P9	2,83	1,38	1,2	0,75
P10	3,88	2,16	1,2	0,75
P11	3,76	1,27	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,0773</b>	<b>1,4436</b>		

Tabla 28: Ciclovía - tramo 1.2

- Ciclovía - tramo 1.3

<b>Hora:</b>	<b>19:30</b>	<b>21:30</b>	<b>NI</b>	<b>NN</b>
<b>Puntos</b>	<b><i>L</i> (cd/m<sup>2</sup>)</b>			
P1	2,62	1,72	1,2	0,75
P2	3,06	1,47	1,2	0,75
P3	1,74	1,07	1,2	0,75
P4	2,18	0,88	1,2	0,75
P5	2,18	0,81	1,2	0,75
P6	2,27	0,95	1,2	0,75
P7	2,4	0,97	1,2	0,75
P8	3,2	1,14	1,2	0,75
P9	3,36	1,24	1,2	0,75
P10	3,56	1,33	1,2	0,75
P11	3,88	1,53	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,7682</b>	<b>1,1918</b>		

Tabla 29: Ciclovía - tramo 1.3

En los anexos se presentan las mediciones de luminancia del tramo 2, correspondientes a la acera y la ciclovía (véase Anexo 2).

### 3.4. Registro de datos para análisis comparativo: anteriores con los actuales

En septiembre de 2024, en la Universidad Politécnica Salesiana, se presentó una tesis [16] en la que se realizó un análisis técnico con el fin de verificar si la iluminación instalada cumplía con los estándares establecidos por la normativa vigente.

A partir de dicha investigación, se extrajeron los valores promedio de luminancia e iluminancia de cada tramo evaluado, los cuales han sido utilizados en este estudio como referencia comparativa frente a los datos obtenidos en la actualidad. Esta comparación permite analizar el comportamiento del sistema de alumbrado público fotovoltaico instalado en ese período. Los valores comparativos se presentan en la Tabla 30, correspondiente a la acera, y en la Tabla 31, correspondiente a la ciclovía.

El propósito de este análisis es determinar si, con el transcurso del tiempo, el sistema de alumbrado fotovoltaico mantiene su nivel de eficiencia luminotécnica o si ha experimentado algún tipo de deterioro o disminución en su desempeño. Esto permite establecer si la instalación continúa cumpliendo con los requisitos normativos, o si es necesario implementar ajustes o actividades de mantenimiento para asegurar condiciones adecuadas de visibilidad y seguridad en el entorno intervenido.

#### 3.4.1. Datos registrados - acera

Tramo	$E_{\text{Anterior}}$ (lux)	$E_{\text{Actual}}$ (lux)	E (%)	$L_{\text{Anterior}}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$L_{\text{Actual}}$ (cd/m <sup>2</sup> )	L (%)
1.1	50.67	62.75	+23.9 %	2.67	2.80	+4.9 %
1.2	48.96	61.55	+25.7 %	2.98	3.08	+3.4 %
1.3	52.20	63.50	+21.6 %	2.27	2.98	+31.3 %
2.1	43.78	57.25	+30.7 %	1.46	1.82	+24.7 %
2.2	52.20	75.53	+44.7 %	2.27	3.21	+41.4 %
2.3	46.69	61.55	+31.9 %	1.66	2.80	+68.7 %
2.4	43.79	62.75	+43.3 %	2.12	2.80	+32.1 %
2.5	48.27	61.77	+28.0 %	1.28	2.75	+114.8 %
2.6	44.44	61.55	+38.5 %	1.69	2.80	+65.7 %
2.7	43.74	62.75	+43.4 %	1.47	2.80	+90.5 %
2.8	32.76	61.55	+87.9 %	1.59	2.80	+76.1 %
2.9	27.29	50.10	+83.6 %	2.39	3.69	+54.4 %
2.10	50.67	61.77	+21.9 %	2.67	3.08	+15.3 %

Tabla 30: Comparación de iluminancia y luminancia - Aceras (Tramos 1.1 al 2.10)

### 3.4.2. Datos registrados - ciclovía

Tramo	E <sub>Anterior</sub> (lux)	E <sub>Actual</sub> (lux)	E (%)	L <sub>Anterior</sub> (cd/m <sup>2</sup> )	L <sub>Actual</sub> (cd/m <sup>2</sup> )	L (%)
1.1	46.64	49.04	+5.2%	2.67	3.07	+15.0%
1.2	46.49	50.10	+7.7%	2.98	3.69	+23.8%
1.3	50.22	52.09	+3.7%	1.90	2.55	+34.2%
2.1	41.48	57.25	+38.0%	1.46	1.82	+24.7%
2.2	48.26	75.53	+56.5%	1.90	3.21	+69.0%
2.3	41.75	61.55	+47.4%	1.66	2.80	+68.7%
2.4	40.85	62.75	+53.6%	2.12	2.80	+32.1%
2.5	36.00	61.77	+71.6%	1.28	2.75	+114.8%
2.6	39.64	61.55	+55.2%	1.69	2.80	+65.7%
2.7	39.12	62.75	+60.4%	1.47	2.80	+90.5%
2.8	30.82	61.55	+99.6%	1.59	2.80	+76.1%
2.9	25.57	50.10	+95.9%	2.39	3.69	+54.4%
2.10	46.64	61.77	+32.4%	2.67	3.08	+15.3%

Tabla 31: Comparación de iluminancia y luminancia - Ciclovía (Tramos 1.1 al 2.10)

### 3.5. Encuestas a transeúntes y usuarios de la vía

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la percepción de seguridad y confort de los usuarios de la acera y la ciclovía. Para ello, se diseñó una encuesta estructurada, compuesta por 10 preguntas que abordan los siguientes aspectos:

- Nivel de iluminación.
- Claridad visual durante la noche.
- Consumo energético del sistema.
- Seguridad en la ciclovía.
- Incorporación de las luminarias solares.
- Apariencia de las nuevas luminarias.
- Seguridad vial con tecnología LED solar.
- Disminución de accidentes.
- Adopción de la tecnología LED solar.
- Impacto ambiental positivo.

Para la elaboración de las encuestas se utilizará el método de la escala de Likert, el cual es un instrumento de medición utilizado en investigaciones para recolectar datos cuantitativos. El encuestado responde indicando su grado de acuerdo o desacuerdo con cada pregunta, generalmente a través de una escala de cinco niveles. En la escala de Likert de 1 a 5, el valor más bajo es 1, que representa la opción "Totalmente en desacuerdo", mientras que el valor más alto es 5, que indica "Totalmente de acuerdo"[42]. Esta escala permite medir el grado de conformidad del encuestado con una afirmación, donde los números intermedios (2, 3 y 4) reflejan niveles crecientes de acuerdo.

A continuación, se presenta la escala de cinco niveles:

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutral
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Seguidamente, se presenta la estructura de la encuesta de 10 preguntas diseñada para evaluar el grado de confort y comodidad visual de los transeúntes.

## Encuesta

**1. ¿Cómo calificarías la calidad de la iluminación proporcionada por las luminarias existentes?**

- 5. Muy mala
- 4. Mala
- 3. Neutral
- 2. Buena
- 1. Muy buena

**2. ¿Las luminarias existentes proporcionan una visibilidad nocturna adecuada para la seguridad vial?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**3. ¿Cree que las luminarias existentes son eficientes en términos de consumo eléctrico?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**4. ¿Las luminarias existentes contribuyen adecuadamente a la seguridad vial en la ciclovía?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**5. ¿Le gustaría que se implementara un nuevo sistema de iluminación LED fotovoltaica en otras aceras de la ciudad?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**6. ¿Cree usted que la instalación de iluminación solar LED ha contribuido a mejorar la estética de la calle Elia Liut?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**7. ¿Considera que la instalación de la nueva iluminación LED fotovoltaica ha mejorado la sensación de seguridad al caminar por la acera o circular por la ciclovía?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**8. ¿Cree que la iluminación LED fotovoltaica redujo accidentes viales en la ciclovía?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**9. ¿Apoyaría la implementación de luminarias solares LED en otros sectores, debido a su capacidad para disminuir el consumo energético?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

**10. ¿Le gustaría que se implementara energía solar fotovoltaica para la iluminación pública debido a su beneficio ambiental?**

- 1. Totalmente en desacuerdo
- 2. En desacuerdo
- 3. Neutral
- 4. De acuerdo
- 5. Totalmente de acuerdo

Esta encuesta es la mejor manera de evaluar la percepción de los usuarios y transeúntes que circulan por la calle, ya que abarca diversos aspectos fundamentales para mejorar la calidad de vida de las personas.

### 3.6. Obtención de datos para evaluación de viabilidad económica

En esta sección se recopilará información relevante para el análisis económico del sistema fotovoltaico frente al sistema convencional de sodio, considerando los siguientes aspectos:

- Supuestos utilizados para el análisis.
- Costos de instalación y mantenimiento del sistema de alumbrado público.
- Costos asociados al consumo de energía.
- Durabilidad y vida útil de los componentes, como paneles solares y luminarias LED.
- Otros factores relevantes para el funcionamiento y operación del sistema.

Esta recopilación permitirá fundamentar el análisis de viabilidad económica y facilitará una comparación integral entre las diferentes soluciones de alumbrado público.

Es importante destacar que en este análisis se comparan dos sistemas de alumbrado público con diferentes configuraciones: el sistema LED cuenta con 15 luminarias, mientras que el sistema de sodio tiene 8 luminarias. Esta diferencia se debe a la altura de los postes y a la separación entre ellos en la Calle Elia Liut. Los postes para las luminarias LED son más bajos, lo que permite instalarlas con una distancia menor entre sí para garantizar una iluminación adecuada. En cambio, los postes del sistema de sodio son más altos, aproximadamente 10 metros, por lo que la separación entre luminarias es mayor. Por tanto, el objetivo de este estudio es evaluar cuál de estos dos sistemas es más viable considerando la cantidad de luminarias necesarias, la distribución y los costos asociados a su instalación y mantenimiento.

Para la estimación del costo total de la inversión inicial en ambos sistemas (fotovoltaico y convencional), se debe considerar el Impuesto al Valor Agregado (IVA) con una tasa del 15 %, conforme a la normativa fiscal vigente en el país. La inclusión de este impuesto es indispensable para obtener una valoración realista y completa de los costos asociados al proyecto, ya que incide directamente en la viabilidad económica de la implementación del sistema de alumbrado público seleccionado. Además, para el análisis económico se toma en cuenta que el precio por kilovatio-hora (kWh) es de 0,10 centavos, valor que impacta en el cálculo de los costos operativos y de consumo energético.

### 3.6.1. Costos fijos de inversión - Led fotovoltaico

El sistema LED fotovoltaico se caracteriza por su facilidad de instalación, dado que la luminaria viene integrada y el poste presenta un montaje sencillo. Esta configuración permite reducir significativamente la cantidad de materiales requeridos, así como el personal necesario para su implementación. En la Tabla 32 se detallan los costos unitarios de los componentes principales del sistema.

Nro.	Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Total (\$)
1	Poste ornamental de acero galvanizado – 6m	15	257,99	3.869,85
2	Base de cemento para anclaje de poste	15	30,00	450,00
3	Solar Street light 60W 11100 lm (incluye transporte)	15	493,82	7.407,30
4	Instalación (luminaria)	15	35,00	525,00
			<b>Subtotal</b>	<b>12.252,14</b>
			<b>IVA 15 %</b>	<b>1.837,83</b>
			<b>Total</b>	<b>14.089,96</b>

Tabla 32: Desglose de costos del sistema LED fotovoltaico

Cabe destacar que los precios considerados fueron obtenidos mediante cotizaciones directas a proveedores especializados y establecimientos comerciales del sector eléctrico, garantizando así la precisión y actualidad de los datos utilizados en el análisis.

### 3.6.2. Costos fijos de mantenimiento - Led fotovoltaico

El Solar Street Light es una luminaria diseñada para ofrecer resistencia y durabilidad frente a las condiciones ambientales, sin embargo, requiere un mantenimiento periódico para asegurar su óptimo funcionamiento y prolongar su vida útil. Por esta razón, en la Tabla 33 se detallan los costos asociados, incluyendo tanto los costos de operación y mantenimiento anuales como los gastos previstos por el reemplazo de las baterías, programado cada nueve años. Este análisis permite estimar de manera precisa la inversión a largo plazo y facilita la planificación financiera del sistema de alumbrado fotovoltaico, considerando aspectos críticos como la eficiencia energética y la confiabilidad del suministro lumínico.

Concepto	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo Total (\$)
<b>Mantenimiento: Cambio de batería (cada 9 años)</b>			
Costo por batería	1	60,00	60,00
Mano de obra por cambio	1	40,00	40,00
<b>Subtotal por batería cambiada</b>			<b>100,00</b>
Número de baterías	15		
<b>Costo total para 15 baterías (cada 9 años)</b>			<b>1.500,00</b>
<b>Limpieza de superficie y verificación electrónica (anual)</b>			
Costo por trabajador (por día)	2	45,00	90,00
<b>Costo anual limpieza y verificación</b>			<b>90,00</b>
<b>Total mantenimiento combinado</b>			<b>1.590,00</b>

Tabla 33: Costo de mantenimiento de baterías y limpieza

Es importante destacar que los costos relacionados con la mano de obra, incluyendo el cambio de batería, limpieza y verificación electrónica, fueron obtenidos a partir de cotizaciones realizadas por personal técnico especializado en el área. El cálculo presentado detalla el desglose de costos para un trabajador y el costo total considerando el número de personal necesario para llevar a cabo el mantenimiento.

### 3.6.3. Ahorro energético - Led fotovoltaico

Al tratarse de un sistema LED fotovoltaico autónomo que genera energía a partir de la radiación solar, no se incurre en costos por consumo eléctrico, lo cual representa una ventaja significativa frente a los sistemas convencionales conectados a la red. No obstante, se realiza el cálculo con el fin de estimar cuánto se ahorraría en términos energéticos y económicos.

#### Ahorro consumo anual

- Potencia total:  $60\text{ W} \times 15 = 900\text{ W} = 0,9\text{ kW}$
- Energía anual:  $0,9\text{ kW} \times 6\text{ h/día} \times 365\text{ días} = 1971\text{ kWh/año}$
- Costo de energía:  $1971\text{ kWh} \times 0,10\text{ ctv} = 197,1\text{ \$/año}$

Desde el punto de vista económico y energético, el sistema LED fotovoltaico representa un ahorro de 197,1 \$/año y 1971 kWh/año, lo cual constituye un avance significativo en términos de eficiencia y sostenibilidad. Cabe señalar que este cálculo se basa en un funcionamiento promedio de 6 horas diarias, periodo durante el cual la luminaria opera al 100 % (véase sección 4.4).

### 3.6.4. Costos fijos de inversión - Sodio

Este tipo de luminarias se caracteriza por requerir un proceso de instalación más complejo. Por tal motivo, en la Tabla 34 se presenta el listado de materiales necesarios para su implementación, junto con los respectivos costos de inversión asociados al sistema. Además, se incluyen los costos correspondientes a la mano de obra y a la obra civil requerida para la correcta instalación del alumbrado.

Nro.	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Total (\$)
<b>MATERIALES</b>					
1	Poste de hormigón cónico, 10m	U	8	165,00	1.320,00
2	Luminaria de sodio de 150W, incluye brazo para montaje en poste, 240/120V	U	8	174,42	1.395,43
3	Materiales internos: fotocélula, ignitor, balastro y capacitor	U	8	75,00	600,00
4	Conductor DUPLEX concéntrico 2x6 AWG	m	230	2,30	547,40
5	Conductor THHN 12 AWG para conexión interna	m	40	0,80	32,00
6	Conector bujía o Split bolt	U	10	5,00	50,00
7	Aisladores tipo perno para sujeción aérea	U	16	4,00	64,00
8	Abrazaderas y tornillería para accesorios	juego	1	60,00	60,00
<b>OBRA CIVIL</b>					
9	Excavación de pozos para postes	U	8	40,00	320,00
10	Fundición de concreto para base de poste	U	8	80,00	640,00
<b>MANO DE OBRA Y EQUIPOS</b>					
11	Instalación de postes con camión grúa/canasta	—	8	35,00	280,00
12	Instalación eléctrica aérea (2 linieros)	—	8	40,00	320,00
13	Montaje luminarias, brazos y conexión (2 técnicos)	—	8	35,00	280,00
				<b>Subtotal</b>	<b>5.908,83</b>
				<b>IVA 15 %</b>	<b>886,32</b>
				<b>Total</b>	<b>6.794,71</b>

Tabla 34: Desglose de costos del sistema de alumbrado con luminarias de sodio

De igual manera, cabe destacar que los precios considerados en el análisis fueron obtenidos mediante cotizaciones directas a proveedores especializados y establecimientos comerciales del sector eléctrico, lo que garantiza la precisión y actualidad de los datos utilizados. Asimismo, los costos correspondientes a la mano de obra y a la obra civil fueron determinados a partir de cotizaciones realizadas con profesionales especializados en el área, asegurando así una estimación realista y técnicamente fundamentada

### 3.6.5. Costos fijos de mantenimiento - Sodio

Las luminarias de sodio presentan una menor durabilidad en comparación con las de tecnología LED, lo que implica la necesidad de realizar mantenimientos con mayor frecuencia. El reemplazo de los componentes internos se efectúa cada cinco años para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. En la Tabla 35 se detallan los costos asociados a los componentes de mantenimiento, así como los costos de mano de obra correspondientes al proceso de sustitución

Concepto	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Costo Total (\$)
<b>Mantenimiento cada 5 años</b>			
Componentes internos de la luminaria (lámpara, balastro, fotocélula, capacitor o ignitor)	1	75,00	75,00
Mano de obra por cambio	1	40,00	40,00
<b>Subtotal por luminaria</b>			<b>115,00</b>
Número de luminarias	8		
<b>Costo total para 8 luminarias (cada 5 años)</b>			<b>920,00</b>
<b>Mantenimiento anual de limpieza</b>			
Costo por trabajador (por día)	2	30,00	60,00
<b>Costo anual limpieza</b>			<b>60,00</b>
<b>Total mantenimiento combinado</b>			<b>980,00</b>

Tabla 35: Costo de mantenimiento de luminarias y limpieza

### 3.6.6. Costos consumo de energía - Sodio

Al tratarse de un sistema de alumbrado de sodio conectado a la red eléctrica, este sí genera un consumo de energía constante durante toda su operación. Dicha demanda energética se traduce en un costo económico recurrente que debe asumirse a lo largo de la vida útil del sistema. Por esta razón, se realiza el cálculo correspondiente para determinar los costos anuales asociados a dicho consumo, considerando la potencia instalada, el tiempo promedio de funcionamiento diario y la tarifa eléctrica vigente. Este gasto operativo representa una desventaja significativa frente a sistemas autónomos, como el LED fotovoltaico, que utilizan energía solar para su funcionamiento, eliminando por completo el pago por consumo eléctrico. Además, la dependencia de la red en los sistemas de sodio implica una mayor vulnerabilidad frente a variaciones en las tarifas de electricidad y cortes de suministro, factores que no afectan a los sistemas solares autónomos.

#### Consumo anual

- Potencia total:  $150 \text{ W} \times 8 = 1200 \text{ W} = 1,2 \text{ kW}$
- Energía anual:  $1,2 \text{ kW} \times 12 \text{ h/día} \times 365 \text{ días} = 5256 \text{ kWh/año}$
- Costo de energía:  $5256 \text{ kWh} \times 0,10 \text{ ctv} = 525,6 \text{ \$/año}$

En el caso del sistema convencional de sodio, el costo anual asociado a las 8 luminarias consideradas en el análisis asciende a **525,6 USD**, lo que representa un gasto considerable, especialmente si se proyecta a la vida útil estimada del sistema, que puede superar los 10 años, generando un desembolso acumulado de más de **5.000 USD** solo en consumo eléctrico. Este gasto recurrente se suma a los costos de mantenimiento y reemplazo de lámparas, que suelen ser más frecuentes en la tecnología de sodio debido a su menor durabilidad y eficiencia. En contraste, el sistema **LED fotovoltaico** no genera costos de consumo energético, ya que opera de manera autónoma utilizando energía solar, lo que implica un ahorro significativo a largo plazo y contribuye a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la generación de electricidad en la red.

## Capítulo 4

### 4. Evaluación técnico - económica

En el presente capítulo se realiza un análisis comparativo entre las normativas vigentes RETILAP (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público) y ARCENNR (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables), en relación con las gráficas obtenidas a partir de los valores medidos en campo. El objetivo es verificar el cumplimiento de los parámetros luminotécnicos exigidos por los estándares establecidos en ambas normativas.

Asimismo, se evalúa la percepción de los usuarios mediante el análisis de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a los transeúntes, con el propósito de determinar si el sistema de alumbrado fotovoltaico ha generado un impacto positivo en la comunidad.

Desde el punto de vista económico, se compara el sistema de alumbrado público con tecnología LED alimentado por energía fotovoltaica frente al sistema convencional conectado a la red eléctrica. Esta evaluación busca determinar cuál de los dos sistemas resulta más viable a largo plazo, considerando tanto los costos operativos como el consumo energético del sistema tradicional.

#### 4.1. Análisis del sistema fotovoltaico

Se analizan las mediciones correspondientes a cada PC. Los datos de iluminancia fueron registrados entre el 23 y el 28 de abril de 2025, a las 19:30 y 21:30 horas. Por su parte, los datos de luminancia se recopilaron entre el 25 de mayo y el 2 de junio de 2025, en los mismos horarios mencionados.

##### 4.1.1. Resultados de iluminancia - acera

Como se muestra en la Figura 34, correspondiente al tramo 1.1, se visualiza que todos los puntos de cálculo cumplen con los niveles normativos RETILAP y ARCENNR. Al inicio del tramo, la iluminancia alcanza aproximadamente 105 lux, debido a la interferencia de una luminaria de sodio y otras luminarias LED de alta potencia que rodean la rotonda del aeropuerto. A partir de las 21:30, se observa una disminución en los niveles de iluminancia, ya que el SFA opera al 50% desde esa hora, como se indica en su datasheet (ver Anexo 3).

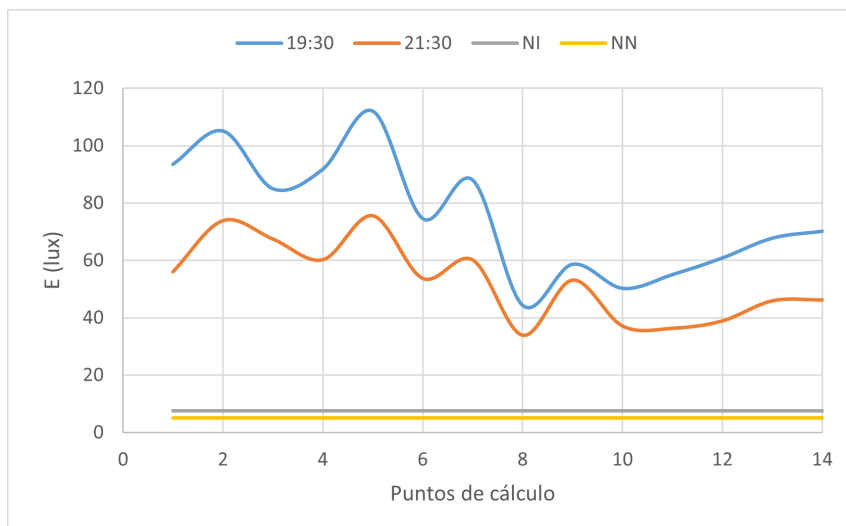


Figura 34: Iluminancia - acera - tramo 1.1

*Fuente:* Autores

Como se muestra en la figura 35, el tramo 1.2 presenta una configuración irregular debido a la ubicación de una luminaria de sodio entre dos árboles, lo cual genera una obstrucción parcial que afecta principalmente a la ciclovía, pero de una u otra manera también a la acera. No obstante, las mediciones realizadas se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa vigente.

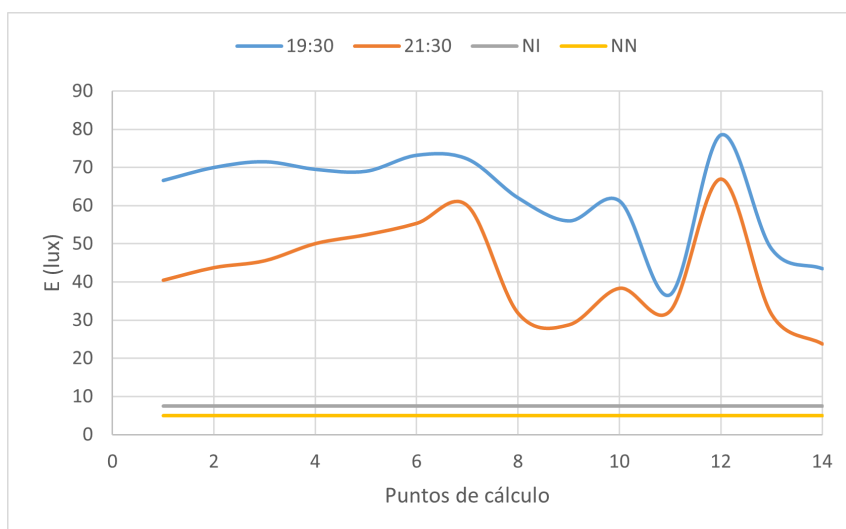


Figura 35: Iluminancia - acera - tramo 1.2

*Fuente:* Autores

En el tramo 1.3 (véase figura 36), se evidencia una tendencia de iluminancia estable hasta PC10, atribuible a la ausencia de interferencias vegetativas. A partir de dicho punto, se registra un aumento en los niveles de iluminancia debido a la proximidad de una luminaria LED y una luminaria de sodio al final del tramo 1.

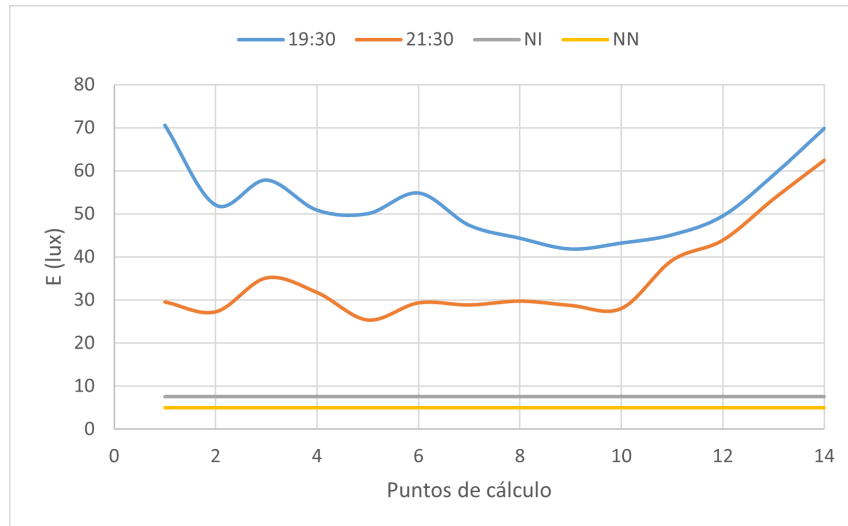


Figura 36: Iluminancia - acera - tramo 1.3

**Fuente:** Autores

En el tramo 2.1 (véase figura 37), se aprecia una tendencia relativamente constante con una ligera disminución de la iluminancia entre los puntos PC5 y PC9, debido a una menor incidencia lumínica en el centro del tramo. Posteriormente, a partir del PC9, la iluminancia incrementa debido a la influencia de la luminaria siguiente. Se verifica que los resultados de las mediciones cumplen con los parámetros normativos estipulados.

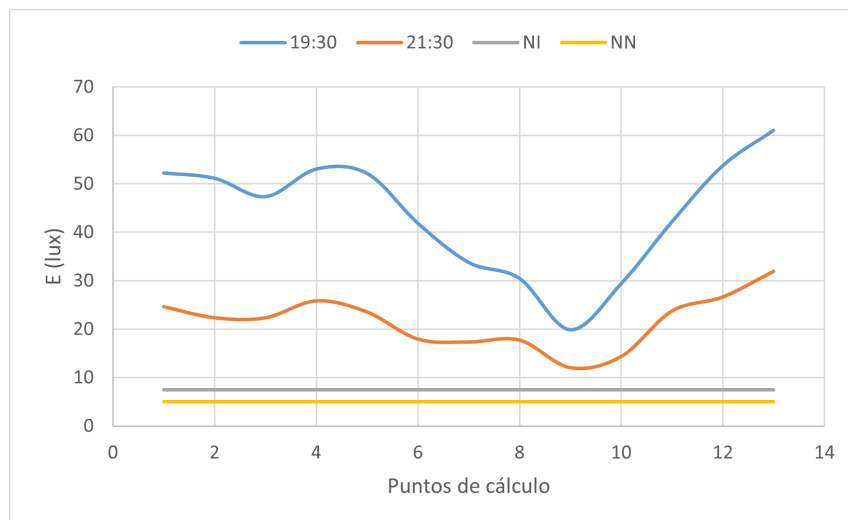


Figura 37: Iluminancia - acera - tramo 2.1

**Fuente:** Autores

Como se observa en la figura 38, en el tramo 2.2 la iluminancia presenta una tendencia estable hasta PC9. A partir de este punto, se evidencia un incremento en los niveles de iluminancia, atribuible a la presencia de una luminaria de sodio ubicada

al inicio del tramo 2.3. Así mismo, se constata el cumplimiento de la normativa.

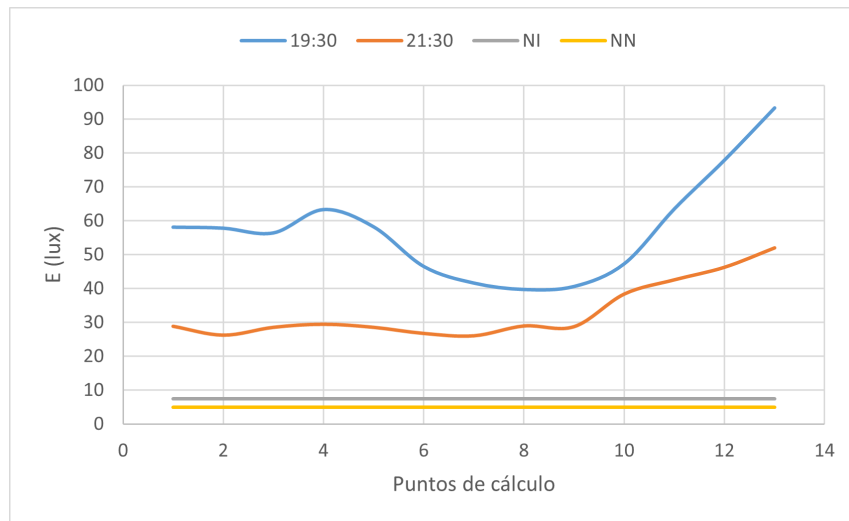


Figura 38: Iluminancia - acera - tramo 2.2

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.3 (véase figura 39), se registra un pico elevado de iluminancia causado por la superposición de una luminaria de sodio sobre una luminaria LED. A partir de dicho punto, la iluminancia disminuye progresivamente hasta el PC8, debido a la baja densidad lumínica en el centro del tramo. Posteriormente, los niveles aumentan nuevamente por la influencia de la luminaria subsiguiente.

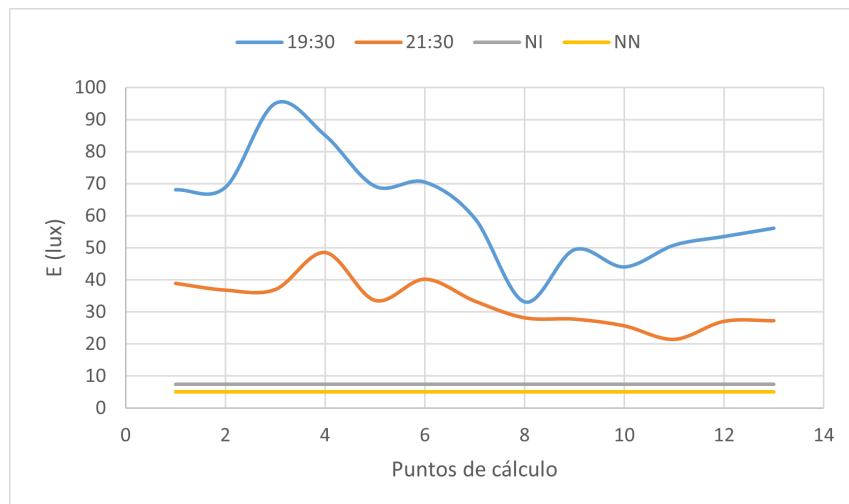


Figura 39: Iluminancia - acera - tramo 2.3

*Fuente:* Autores

En la figura 40, correspondiente al tramo 2.4, se observa una tendencia consistente y estable en ambos horarios, lo cual se atribuye a que no existe interferencias

causadas por vegetación o luminarias de sodio, cumpliendo de este modo con las normativas.

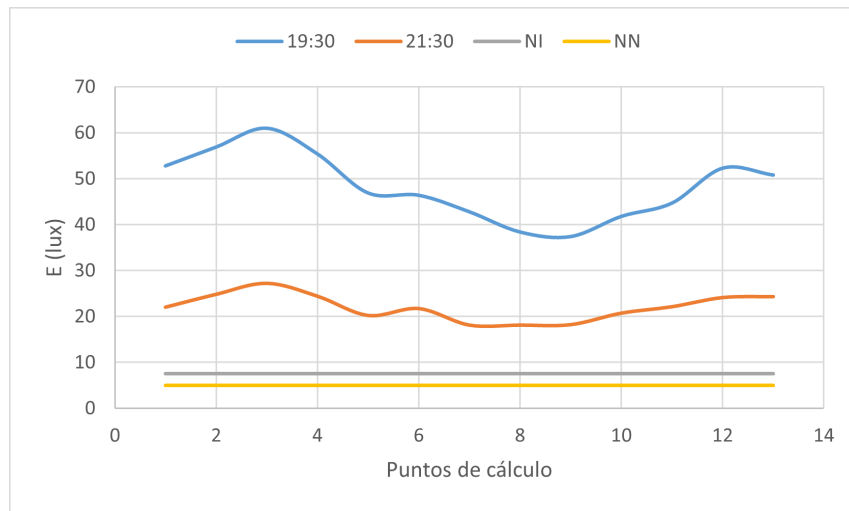


Figura 40: Iluminancia - acera - tramo 2.4

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.5 se mantiene una tendencia uniforme y constante a la del tramo anterior. Sin embargo, a partir del PC7 se evidencia un leve incremento en los niveles de iluminancia, a causa de la presencia de una luminaria de sodio en las proximidades. No obstante, los valores registrados se mantienen dentro de los rangos establecidos por la normativa.

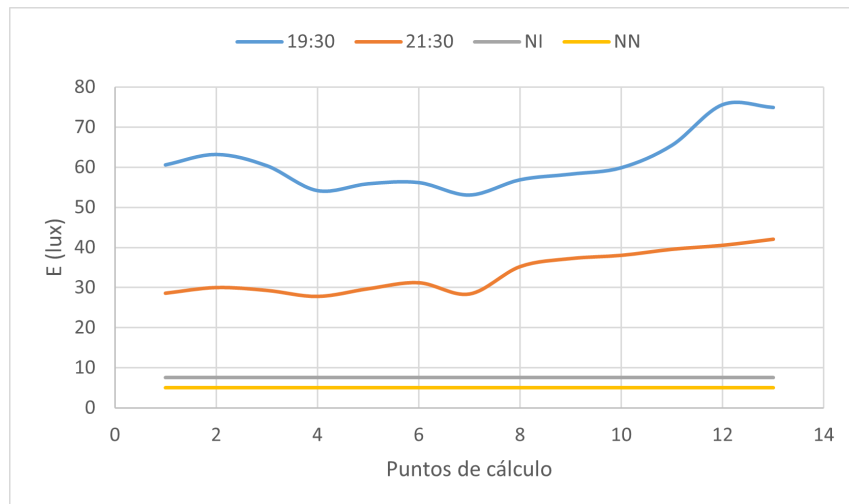


Figura 41: Iluminancia - acera - tramo 2.5

*Fuente:* Autores

En la figura 42, correspondiente al tramo 2.6, se observa una tendencia uniforme de iluminancia hasta el PC4. A partir de este punto, los niveles decrecen progresivamente hasta el PC9, debido a la obstrucción generada por la presencia de arbustos.

Posteriormente, la iluminancia se incrementa por la influencia de la luminaria siguiente. A pesar de las fluctuaciones registradas, las mediciones cumplen con las normativas.

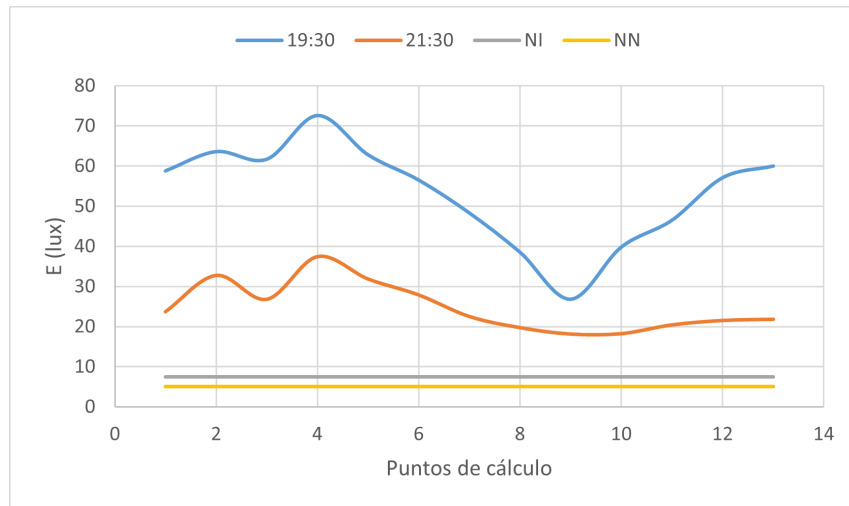


Figura 42: Iluminancia - acera - tramo 2.6

*Fuente:* Autores

En la figura 43, correspondiente al tramo 2.7, se evidencia una tendencia descendente de iluminancia hasta PC8, atribuida a la presencia de sombras generadas por la vegetación. A partir de dicho punto, la tendencia se torna ascendente hasta PC13, debido al cambio de entorno de jardín a acera y por la luminaria siguiente. Cabe destacar que los niveles registrados superan los valores mínimos exigidos por las normas lo que confirma el cumplimiento de los requerimientos normativos.

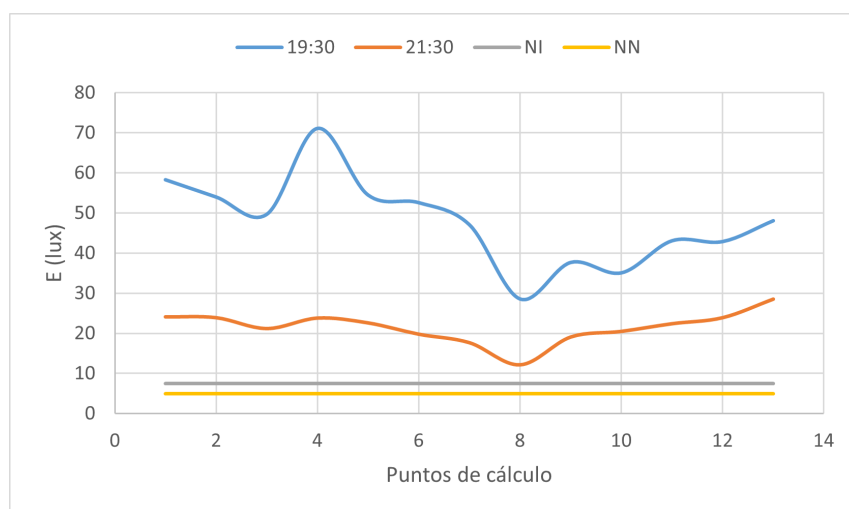


Figura 43: Iluminancia - acera - tramo 2.7

*Fuente:* Autores

En la figura 44, correspondiente al tramo 2.8, se registran niveles elevados de iluminancia hasta el PC6 debido a una luminaria de sodio. Luego, los valores disminuyen en la zona central del tramo y nuevamente aumentan de forma leve por el efecto reflectante de las fachadas de las viviendas.

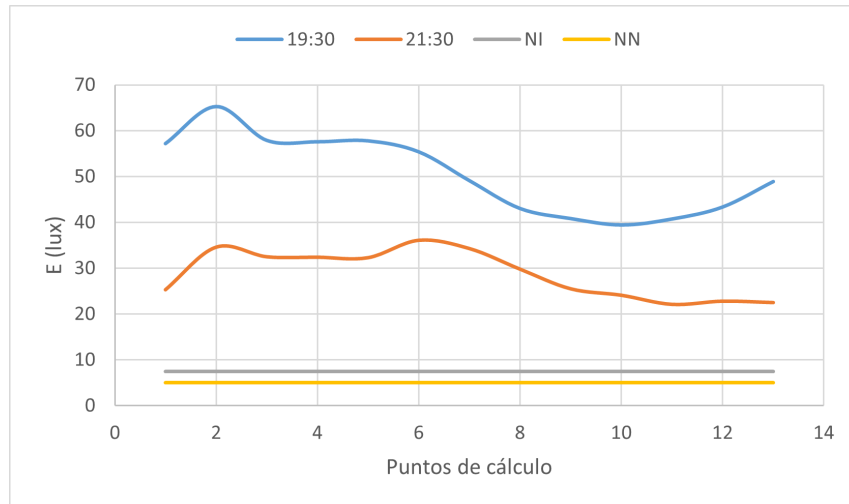


Figura 44: Iluminancia - acera - tramo 2.8

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.9 (véase figura 45), se identifica la presencia de tres árboles que, a partir del PC7, generan obstrucciones parciales a la iluminación. No obstante, en los puntos PC12 y PC13 se registra un notable incremento en la iluminancia, ya que estos se encuentran fuera de la zona de interferencia arbórea. Pese a la densa vegetación, los niveles medidos cumplen con la normativa.

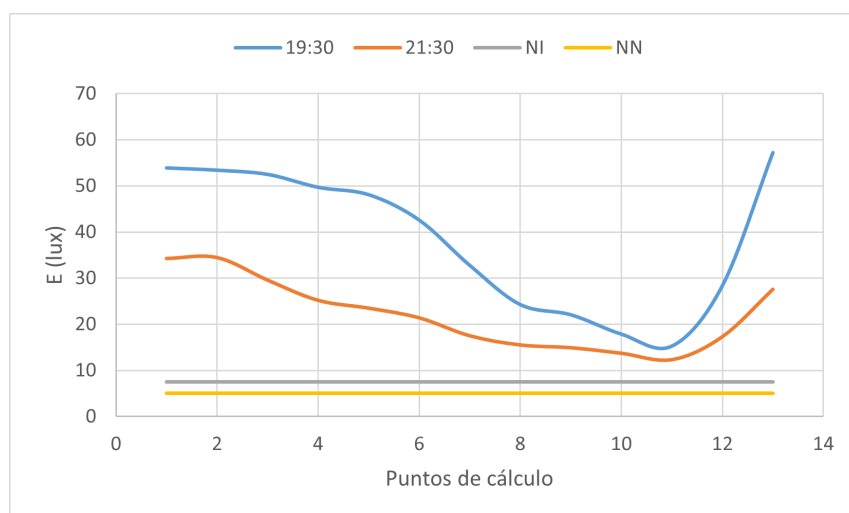


Figura 45: Iluminancia - acera - tramo 2.9

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.10 (véase figura 46), se observa un pico de iluminancia en el centro del tramo, atribuible a la presencia de una luminaria de sodio. Posteriormente, los niveles disminuyen hasta PC11 debido a la obstrucción generada por un árbol. A partir de ese punto, La iluminancia se eleva nuevamente por la contribución lumínica de la pantalla en la parada de bus.

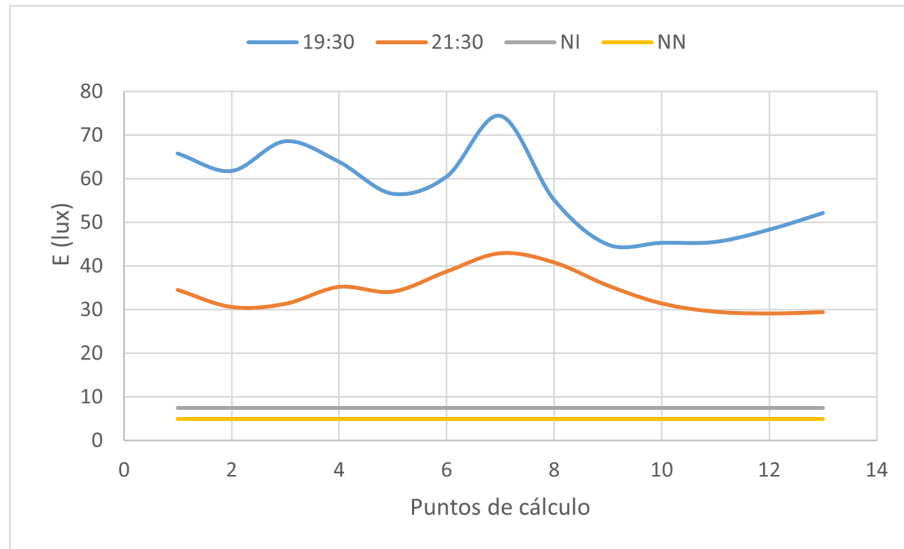


Figura 46: Iluminancia - acera - tramo 2.10

*Fuente:* Autores

#### 4.1.2. Resultados de iluminancia - ciclovía

En la Figura 47, correspondiente al tramo 1.1, se observa una tendencia de comportamiento estable en ambos horarios de medición, lo cual permite verificar el correcto modo de operación del SFA a las 21:30, momento en el que, teóricamente, los niveles de iluminancia deberían ser menores. Al inicio del tramo se registra un valor elevado de iluminancia, alcanzando aproximadamente los 112 lux, debido a la influencia directa de una luminaria de sodio y el aporte complementario de luminarias LED en la zona (led's de alta potencia de la rotonda), tal como se mencionó en el tramo 1.1 para los PC de la acera. Posteriormente, se evidencia una disminución en los niveles de iluminancia como consecuencia de la obstrucción generada por un árbol; sin embargo, estos vuelven a incrementarse tras superar la interferencia arbórea y ante la proximidad de la siguiente fuente luminosa. En función de los resultados obtenidos, se concluye que las mediciones cumplen con los parámetros establecidos por la normativa NI y NN.

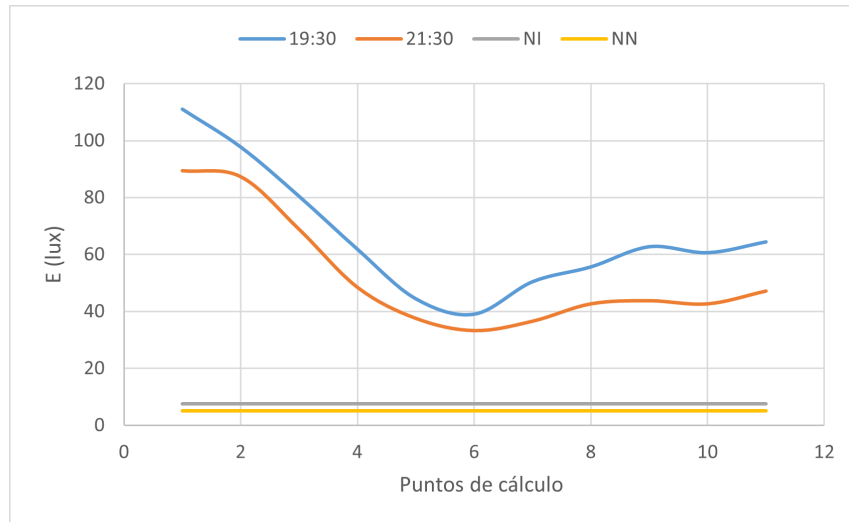


Figura 47: Iluminancia - ciclovía - tramo 1.1

*Fuente:* Autores

Para el tramo 1.2 (véase Figura 48), se observa una iluminancia estable hasta PC4, ya que no existe interferencias de ningún tipo. A partir de este, los niveles disminuyen como resultado de la sombra generada por un árbol. Posteriormente, se registra un incremento en los valores debido a la presencia de una luminaria de sodio que afecta directamente a la ciclovía. Se verifica el cumplimiento de las normativas.

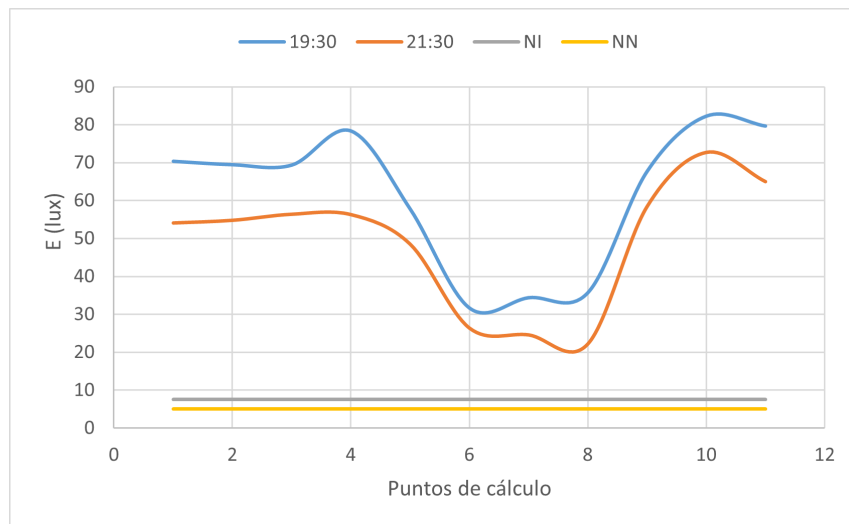


Figura 48: Iluminancia - ciclovía - tramo 1.2

*Fuente:* Autores

Los valores registrados (véase Figura 49) se encuentran dentro de los rangos establecidos por la NI y NN. No obstante, se evidencia una disminución en la iluminancia desde PC3 hasta PC5, atribuible a la presencia de sombra causada por vegetación en la zona de medición. A medida que se avanza hacia los siguientes puntos, los niveles

de iluminancia se incrementan progresivamente, como resultado de la proximidad a la siguiente luminaria.

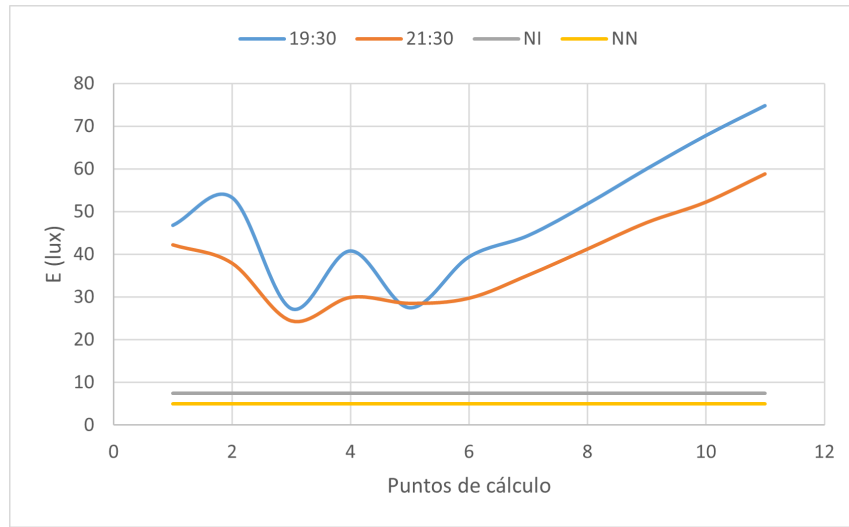


Figura 49: Iluminancia - ciclovía - tramo 1.3

*Fuente:* Autores

En el PC1 del tramo 2.1 (véase Figura 50), se registra una iluminancia elevada, posiblemente influenciada de forma indirecta por una luminaria de sodio cercana. A continuación, se observa una leve disminución en los niveles debido a variaciones en la distribución de luz a lo largo del tramo, seguida de un aumento progresivo conforme se aproxima la siguiente luminaria, estabilizándose las mediciones. En general, los valores obtenidos cumplen con los requerimientos normativos.

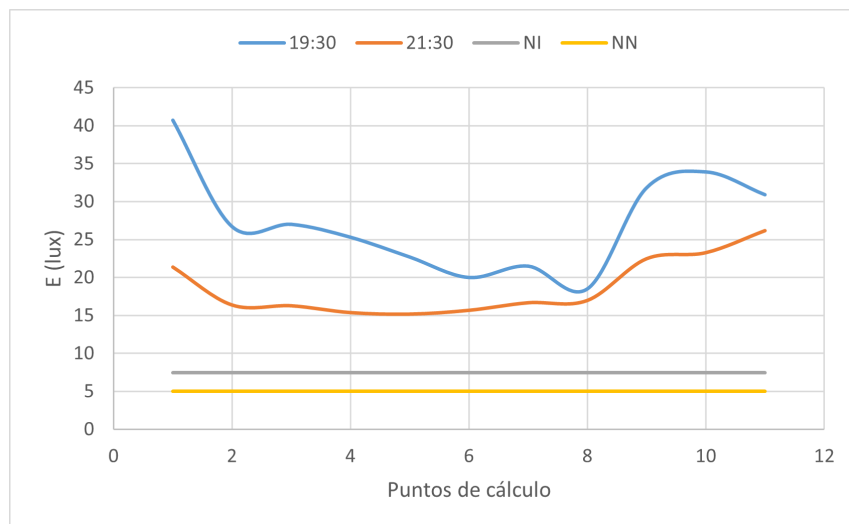


Figura 50: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.1

*Fuente:* Autores

Para el tramo 2.2 (véase figura 51) se constata el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa. No obstante, a partir del PC6 se evidencia un incremento en los niveles de iluminancia, atribuible a la influencia de una luminaria LED ubicada al inicio del tramo siguiente (T2.3), que incide directamente sobre la ciclovía.

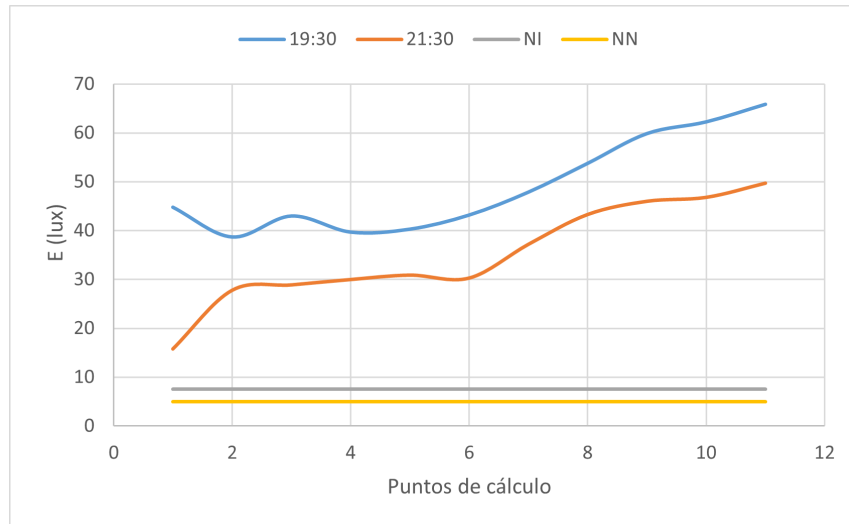


Figura 51: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.2

**Fuente:** Autores

Tal como se mencionó previamente, en el tramo 2.3 (véase Figura 52) se encuentra una luminaria de sodio al inicio del recorrido, lo que genera niveles elevados de iluminancia en esa zona. Sin embargo, estos valores disminuyen progresivamente a medida que las mediciones se alejan de la influencia directa de dicha fuente luminosa.

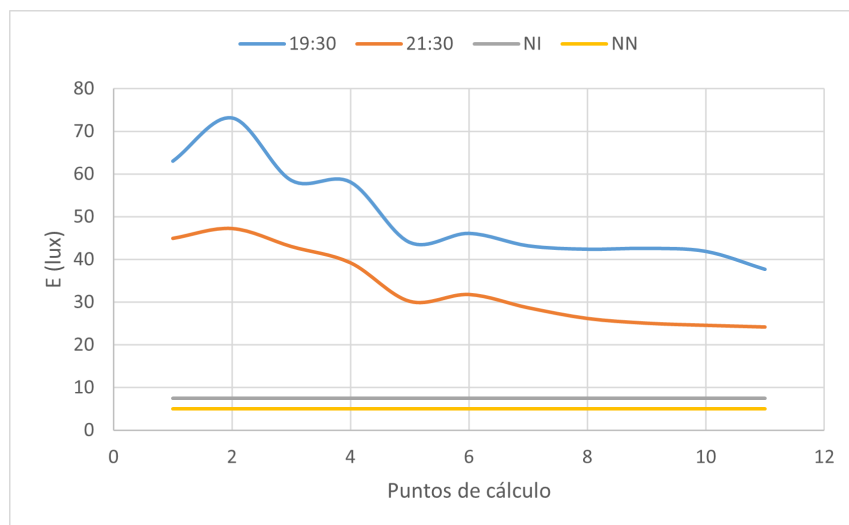


Figura 52: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.3

**Fuente:** Autores

La Figura 53 muestra una disminución de iluminancia entre PC1 y PC7, causada por sombras de vegetación y líneas de telecomunicaciones. Entre PC9 y PC11, los niveles se incrementan debido a la iluminación de carteles publicitarios. En general, la tendencia es estable, ya que la vegetación presente no genera una obstrucción significativa. Se verifica el cumplimiento de las normativas NI y la NN.

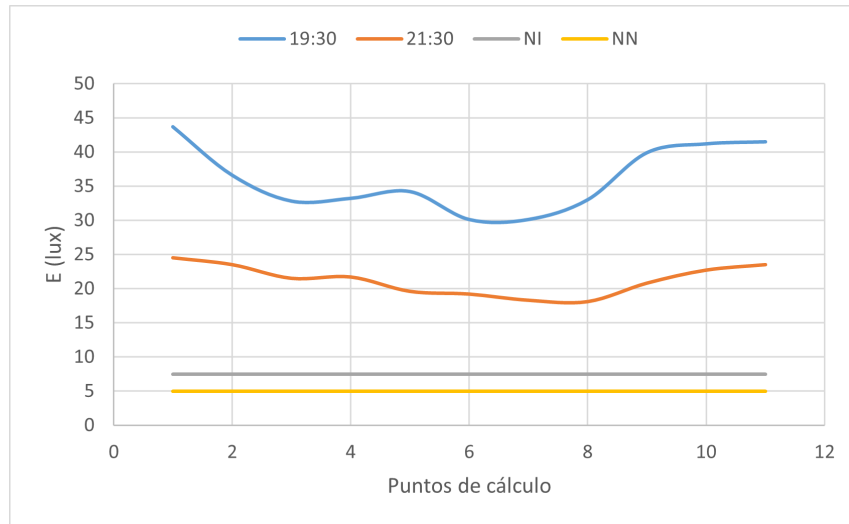


Figura 53: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.4

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.5 (véase Figura 54) se verifica el cumplimiento de las normativas vigentes, manteniéndose una tendencia consistente en ambos horarios de medición. No obstante, a partir del PC4 se registra un incremento en los niveles de iluminancia, atribuible a la presencia de una luminaria de sodio en las proximidades.

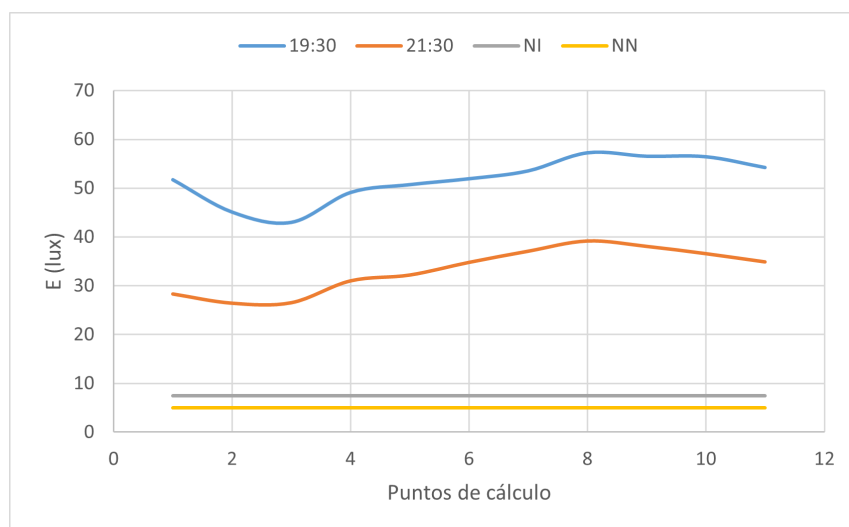


Figura 54: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.5

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.6 (véase figura 55) al principio se registra un aumento en la iluminancia, posiblemente influenciado de forma indirecta por el aporte lumínico del Supermaxi, dado que no se presenta un pico pronunciado. A partir del PC3, los niveles disminuyen y tienden a estabilizarse al alejarse de dicha fuente. Sin embargo, aunque los valores disminuyen al final, se mantienen dentro de los límites normativos.

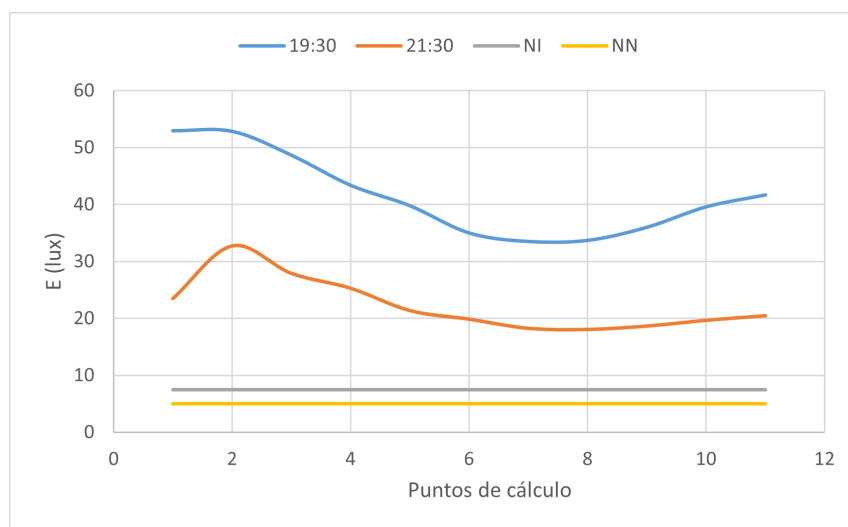


Figura 55: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.6

*Fuente:* Autores

En la Figura 56, correspondiente al tramo 2.7, se verifica el cumplimiento de las normativas NI y NN. Se puede visualizar que la tendencia de las mediciones se mantiene estable y constante, debido a la ausencia de elementos que interfieran con la distribución de iluminancia en este tramo.

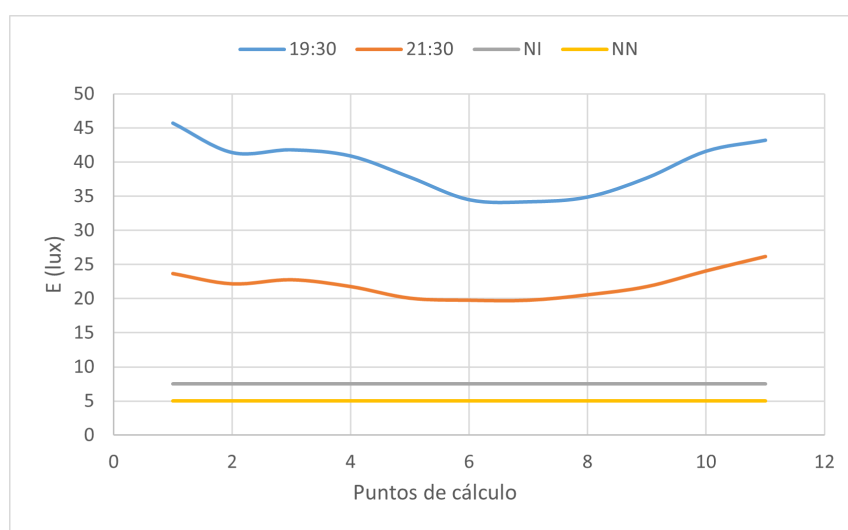


Figura 56: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.7

*Fuente:* Autores

Al inicio del tramo 2.8 (véase Figura 57), se registran niveles elevados de iluminancia debido a la presencia de una luminaria de sodio. A medida que los Puntos de Control se alejan, los niveles disminuyen por la sombra del cableado de telecomunicaciones; sin embargo, las mediciones permanecen dentro de los límites normativos.

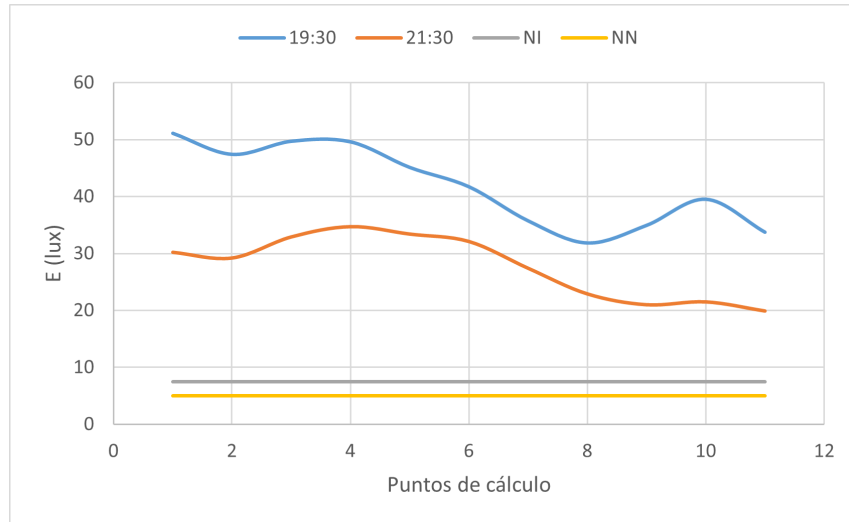


Figura 57: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.8

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.9 se verifica el cumplimiento de la normativa. No obstante, entre los puntos PC7 y PC9 se registran niveles reducidos de iluminancia, atribuibles a las sombras proyectadas por la vegetación. Posteriormente, en los puntos PC10 y PC11, los valores se incrementan nuevamente, ya sea por la influencia de la luminaria subsiguiente o por la ausencia de obstrucción vegetal en esa zona.

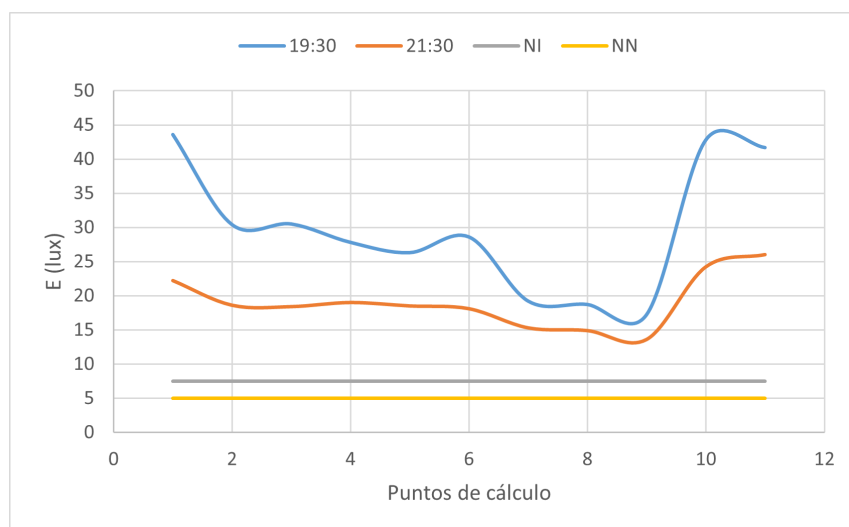


Figura 58: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.9

*Fuente:* Autores

Como se muestra en la Figura 59, correspondiente al tramo 2.10, se verifica el cumplimiento normativo. Se observa que entre los puntos PC1 y PC5 se registran niveles moderadamente elevados de iluminancia, atribuibles al aporte de una luminaria de sodio. Además, a partir de PC5, los valores disminuyen debido a la presencia de vegetación.

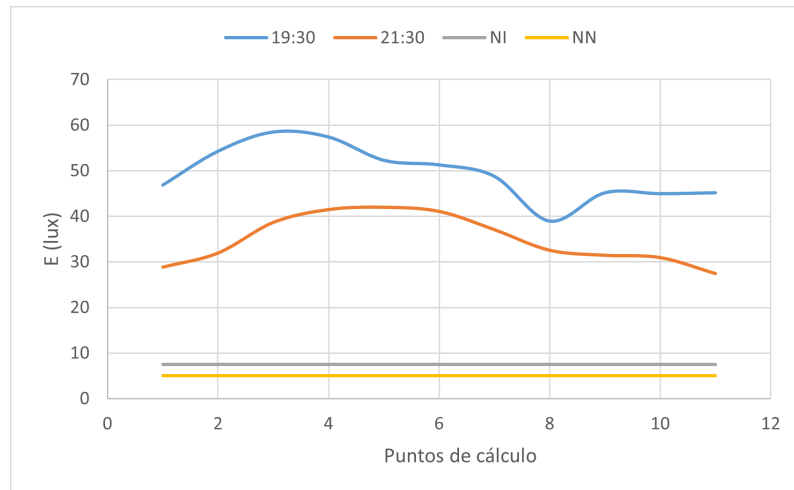


Figura 59: Iluminancia - ciclovía - tramo 2.10

*Fuente:* Autores

#### 4.1.3. Resultados de luminancia - acera

En el tramo 1.1 (ver Figura 60), la luminancia en ambos horarios supera los límites normativos NI y NN, evidenciando un cumplimiento satisfactorio. No obstante se detectan picos y fluctuaciones cerca de PC7, posiblemente causados a una interferencia provocada por la reflexión de una fuente de luz en ese punto específico.

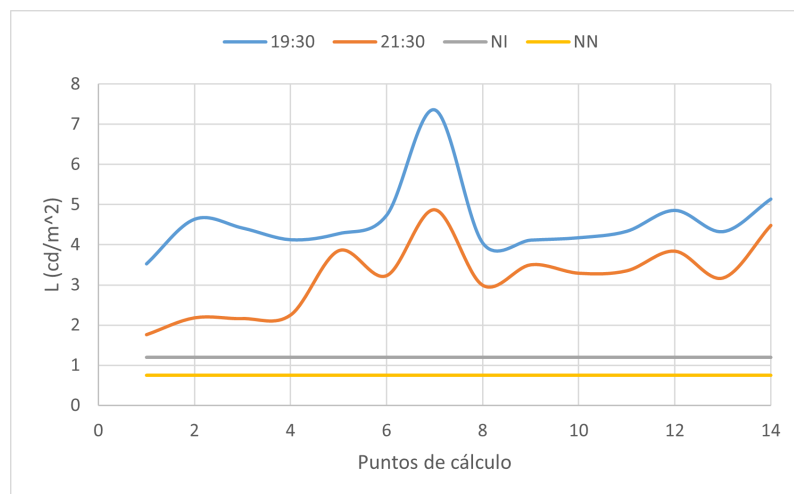


Figura 60: Luminancia - acera - tramo 1.1

*Fuente:* Autores

Como se muestra en la Figura 61, para el tramo 1.2, los niveles de luminancia en ambos horarios superan en general los umbrales normativos NI y NN, mostrando un cumplimiento técnico adecuado. Sin embargo, a las 21:30, el PC5 está al límite de la NI y el PC14 no la cumple, indicando un incumplimiento puntual. Según la NN, todas las mediciones cumplen.

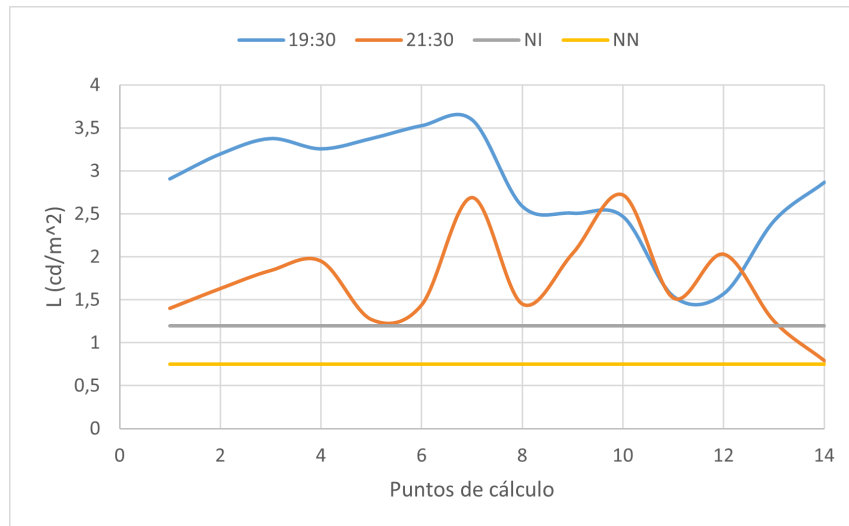


Figura 61: Luminancia - acera - tramo 1.2

*Fuente:* Autores

Las mediciones a las 19:30 del tramo 1.3 (véase figura 62) cumplen con ambas normativas. No obstante, los valores a las 21:30 cumplen únicamente con la NN, mientras que en la NI no cumplen los puntos PC1, PC2, PC4, PC12 y PC14, debido a que se ubican en una zona de baja reflectancia.

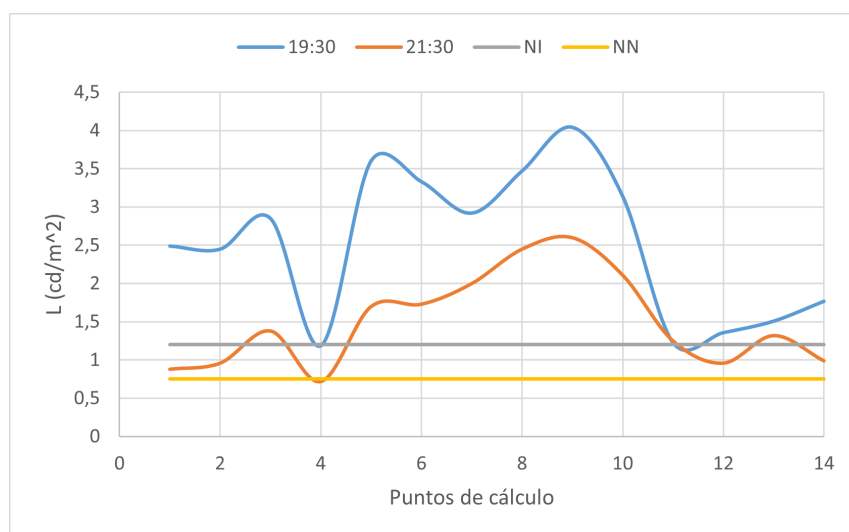


Figura 62: Luminancia - acera - tramo 1.3

*Fuente:* Autores

Se verifica el cumplimiento de ambas normativas a las 19:30 en el tramo 2.1 (véase Figura 63), cuando el sistema opera al 100 %. Sin embargo, a las 21:30, con el sistema funcionando al 50 %, las mediciones cumplen únicamente con la NN, mientras que bajo la NI solo cumplen los puntos PC2, PC4, PC7, PC11 y PC13.

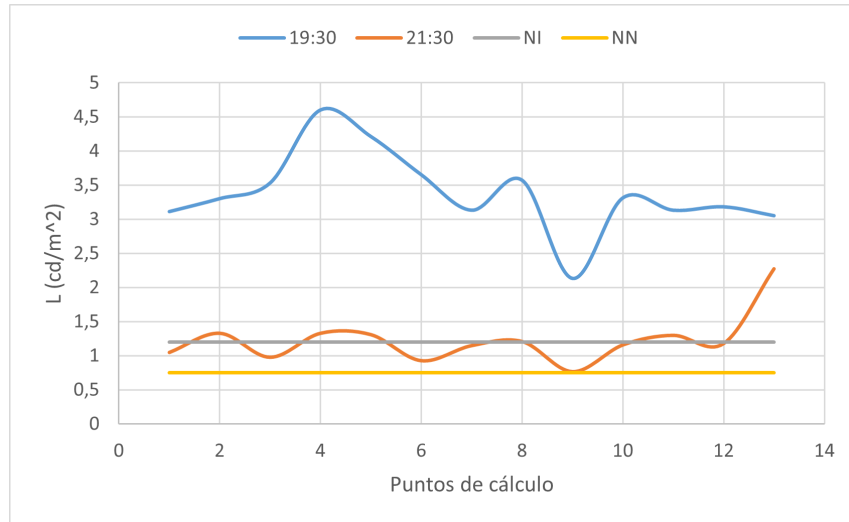


Figura 63: Luminancia - acera - tramo 2.1

*Fuente:* Autores

En la Figura 64, correspondiente al tramo 2.2, se observa el cumplimiento de las normativas NI y NN. No obstante, a las 21:30, cuando el sistema opera al 50 %, los puntos PC1, PC2 y PC6 se sitúan en el límite de la NI, aunque aún dentro de los valores permitidos.

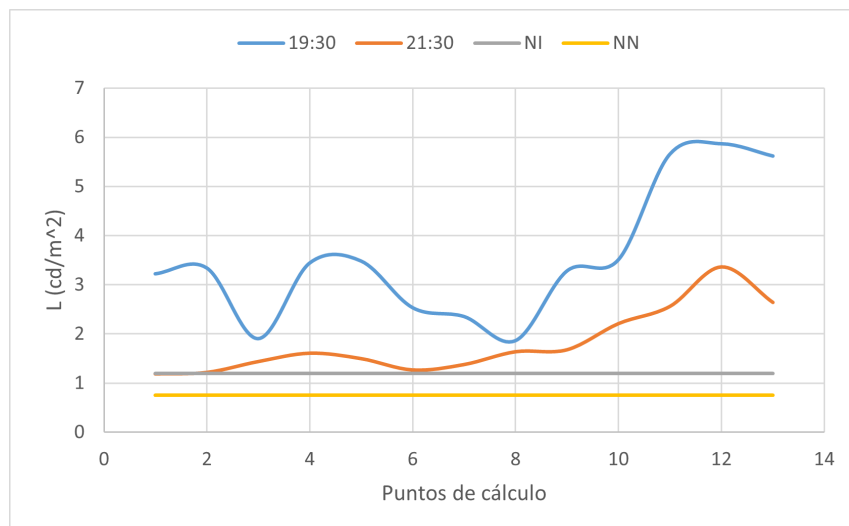


Figura 64: Luminancia - acera - tramo 2.2

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.3 (véase Figura 65) se observa que en el PC3 presenta un descenso que lo sitúa al límite de la NI. Entre PC4 y PC7 la luminancia aumenta por una luminaria de sodio, generando una zona altamente reflectante. Posteriormente, a las 21:30, los puntos PC9 y PC11 se encuentran al límite de la NI, y finalmente, se observa que PC12 y PC13 no cumplen con dicha normativa. Sin embargo, bajo el criterio de la NN, todas las mediciones cumplen.

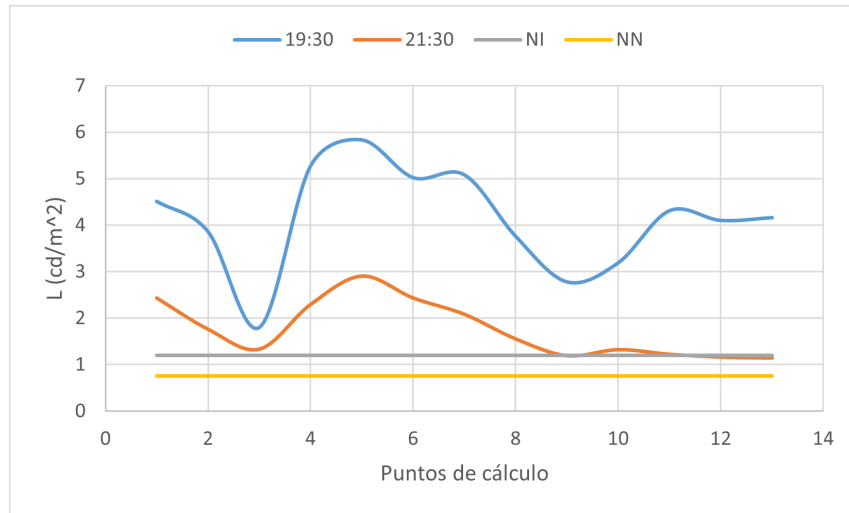


Figura 65: Luminancia - acera - tramo 2.3

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.4 (véase Figura 66) se observa que los valores medidos a las 19:30 cumplen con ambas normativas. En el PC3 se registra un pico decreciente, probablemente debido a una zona de baja reflectancia. Sin embargo, a las 21:30, únicamente se verifica el cumplimiento desde el PC8 en adelante, lo cual se atribuye a la reducción de intensidad de la luminaria en ese horario.

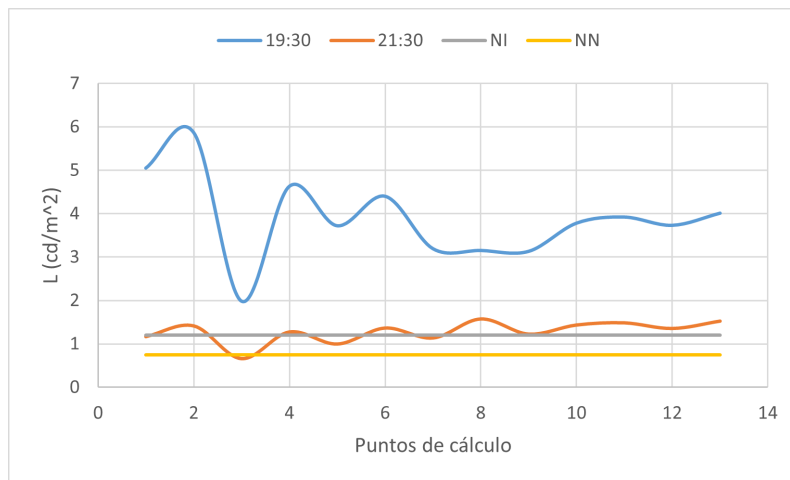


Figura 66: Luminancia - acera - tramo 2.4

*Fuente:* Autores

Se constata el cumplimiento de las normativas en ambos horarios para el tramo 2.5 (ver Figura 67). A las 19:30, se registra un aumento de luminancia en el PC5, atribuible a la reflectancia generada por una luminaria de sodio. A las 21:30, los puntos PC6 y PC11 se sitúan al límite de la NI, aunque aún dentro del rango permitido.

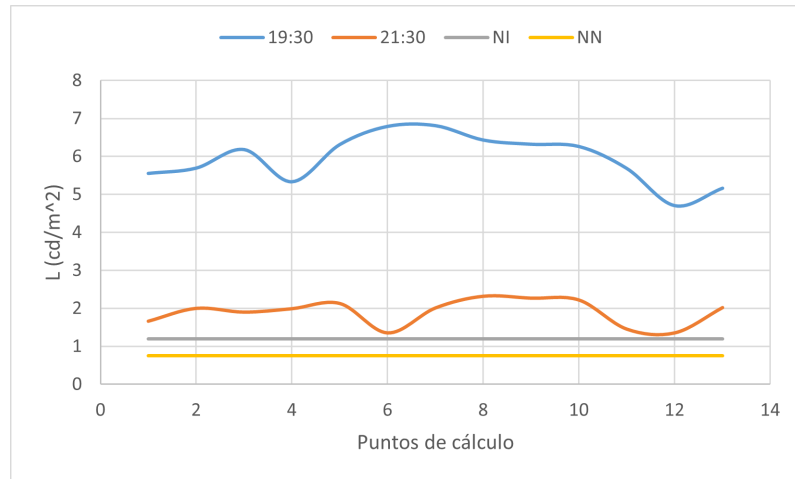


Figura 67: Luminancia - acera - tramo 2.5

*Fuente:* Autores

En el T2.6 (Figura 68), los valores medidos en ambos horarios cumplen con las normativas NI y NN. Sin embargo, a las 21:30 las mediciones se encuentran en el límite establecido por la NI, debido a la ubicación de los puntos en una zona verde, lo que influye significativamente en los niveles de luminancia. Pese a ello, permanecen dentro del rango permitido.

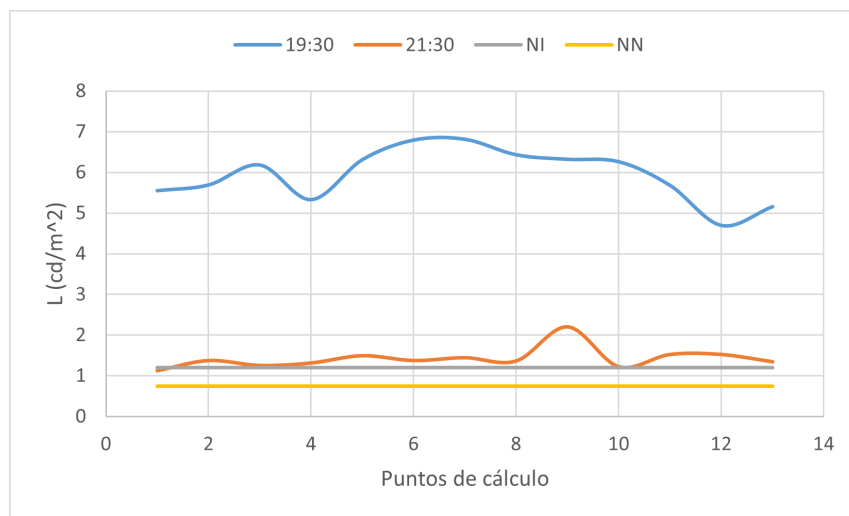


Figura 68: Luminancia - acera - tramo 2.6

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.7 (Figura 69), las mediciones de las 21:30 indican que los PC1, PC3 y PC7 no se ajustan a los requisitos de la RETILAP; sin embargo, cumplen con los criterios de la ARCENNR. En las mediciones de las 19:30, se verifica conformidad con ambas normativas.

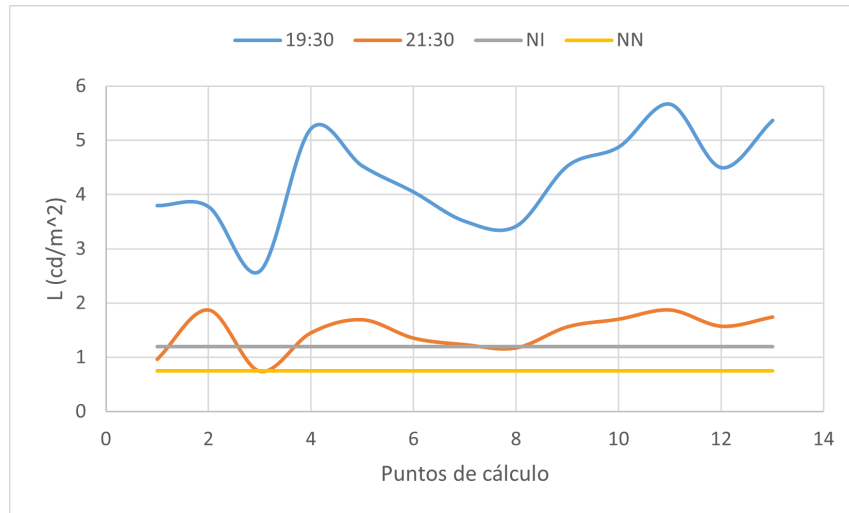


Figura 69: Luminancia - acera - tramo 2.7

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.8 (véase Figura 70), la presencia de una luminaria de sodio provoca un aumento de la luminancia entre los puntos PC3 y PC6, debido al efecto de su reflectancia. No obstante, se verifica el cumplimiento de ambas normativas en los dos horarios de medición.

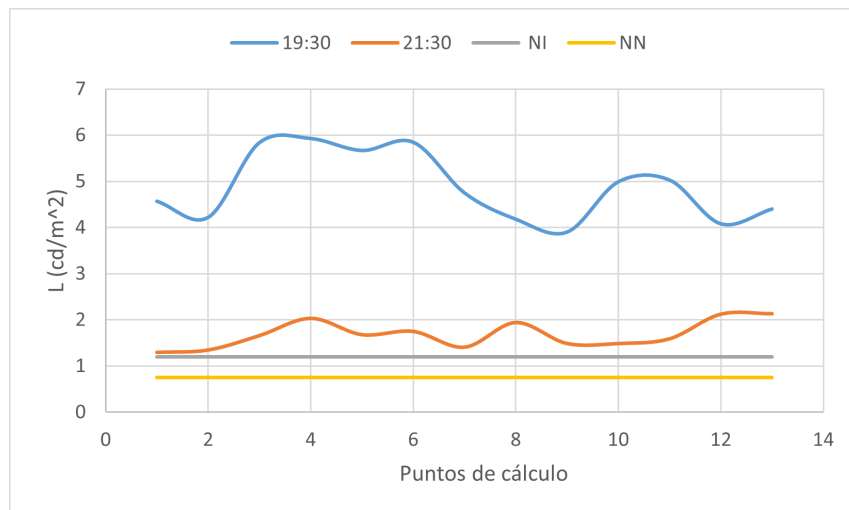


Figura 70: Luminancia - acera - tramo 2.8

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.9 (véase Figura 71), se evidencia una disminución progresiva de la luminancia desde el PC3 hasta el PC11, tanto cuando el sistema opera al 100 % como al 50 %, efecto atribuido a las sombras generadas por la vegetación. A las 21:30, se detecta un incumplimiento en el PC8, mientras que el resto de los puntos cumple con las normativas NI y NN en ambos horarios.

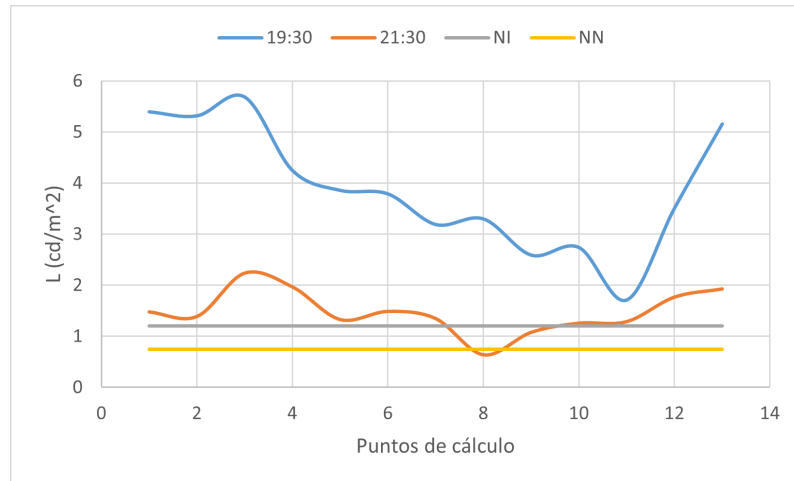


Figura 71: Luminancia - acera - tramo 2.9

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.10 (Figura 72), se registra un ligero aumento de luminancia en los puntos PC2 y PC3 debido al reflejo generado por una luminaria de sodio, seguido de una leve disminución ocasionada por la presencia de vegetación. Pese a estas variaciones, todas las mediciones cumplen con las normativas NI y NN en ambos horarios.

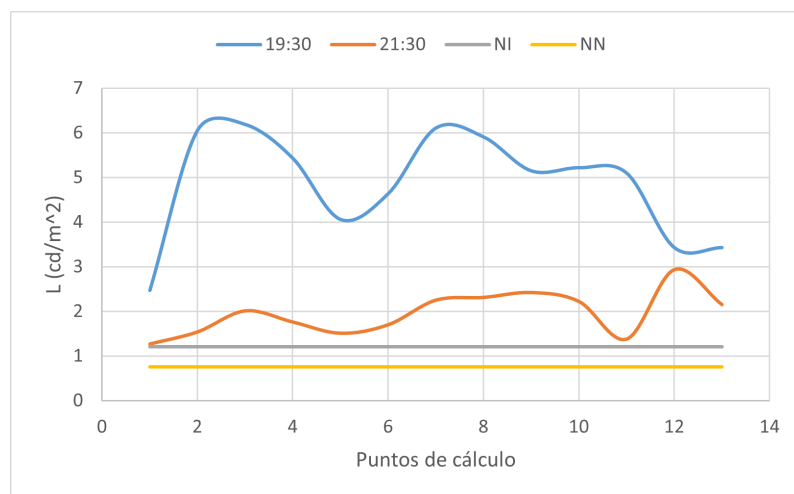


Figura 72: Luminancia - acera - tramo 2.10

*Fuente:* Autores

#### 4.1.4. Resultados de luminancia - ciclovía

En el tramo 1.1 (Figura 73), los niveles de luminancia cumplen en general con los umbrales de las normativas NI y NN. Sin embargo, a las 21:30, los puntos PC5 y PC6 presentan valores por debajo del límite de la NI, y se observa una disminución progresiva entre PC5 y PC7 debido a la obstrucción de un árbol, que reduce la reflectancia en la zona. Bajo el criterio de la ARCENNR, todos los puntos cumplen en ambos horarios.

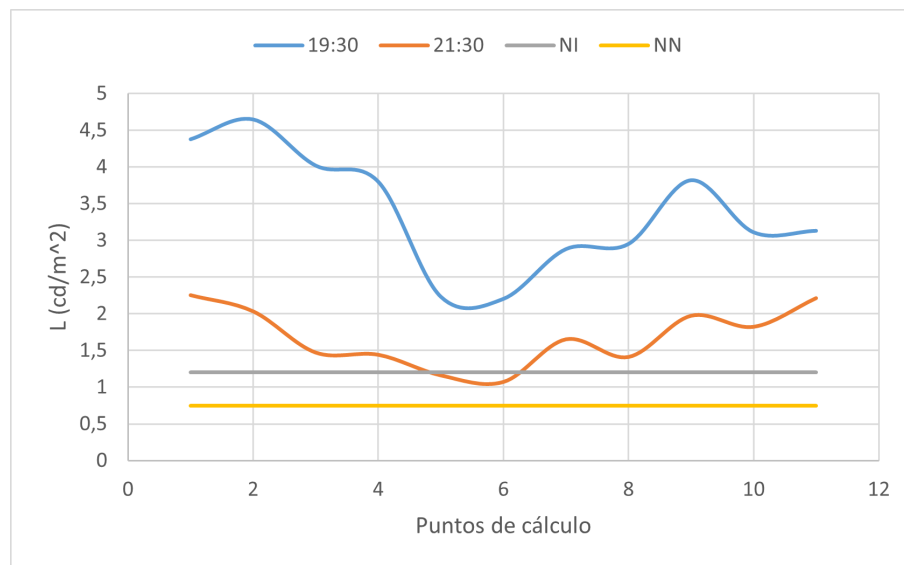


Figura 73: Luminancia - ciclovía - tramo 1.1

*Fuente:* Autores

Como se observa en la Figura 74, en el tramo 1.2 se registra una disminución de los niveles de luminancia desde el PC5 hasta el PC8, atribuible a la presencia de vegetación que obstaculiza la reflexión de la luz. Esta condición provoca que, en las mediciones realizadas a las 21:30, los puntos de cálculo PC5, PC6 y PC8 no alcancen los valores mínimos establecidos por la normativa RETILAP. En contraste, bajo el criterio de la ARCENNR, los demás puntos evaluados presentan niveles de luminancia conformes en ambos horarios.

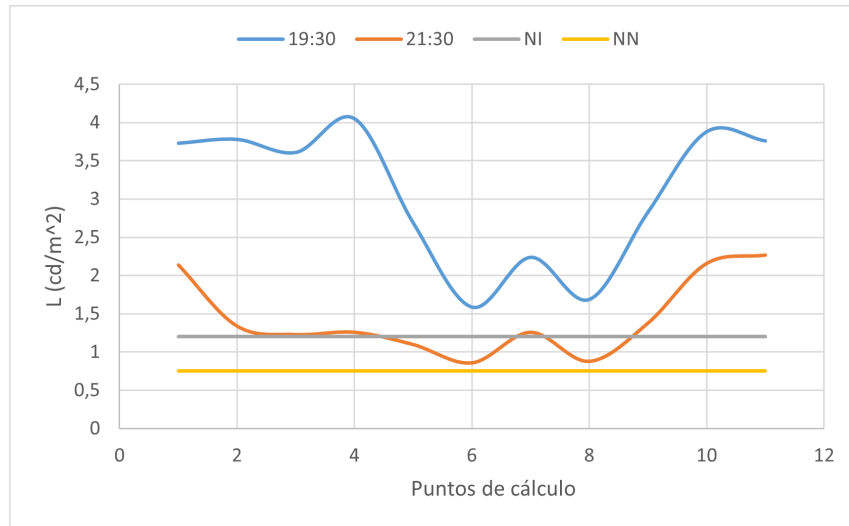


Figura 74: Luminancia - ciclovía - tramo 1.2

*Fuente:* Autores

Para las mediciones de las 21:30, se observa un incumplimiento de la normativa NI en los puntos de cálculo comprendidos entre el PC3 y el PC8 para el tramo 1.3 (véase Figura 75), lo cual se atribuye al modo de operación de la luminaria y a la escasa reflectancia en dicha zona. No obstante, bajo los criterios establecidos por la ARCENNR, todas las mediciones realizadas en ambos horarios cumplen con los parámetros normativos requeridos.

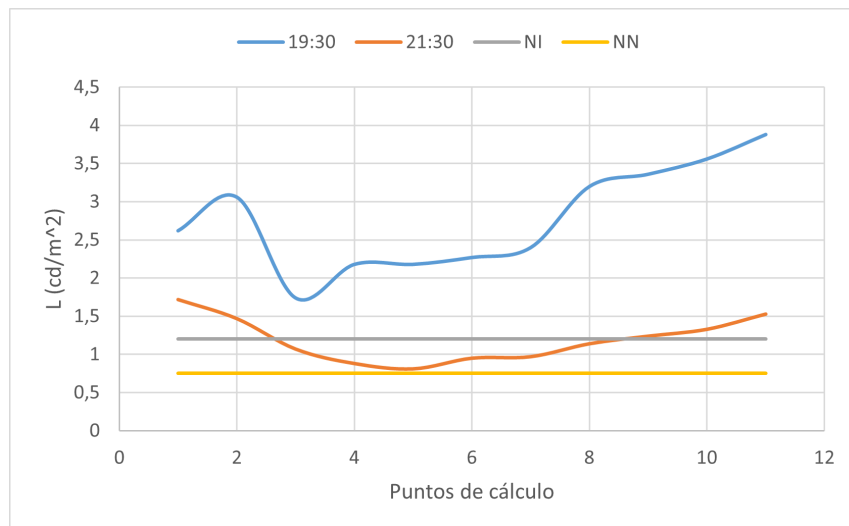


Figura 75: Luminancia - ciclovía - tramo 1.3

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.1 (véase Figura 76), se evidencia un incumplimiento significativo de la normativa RETILAP en las mediciones de las 21:30. Esta situación se atribuye a la baja reflectancia, provocada por la obstrucción lumínica debida a la vegetación.

Mientras que, bajo la normativa ARCENNR, todas las mediciones cumplen en ambos horarios.

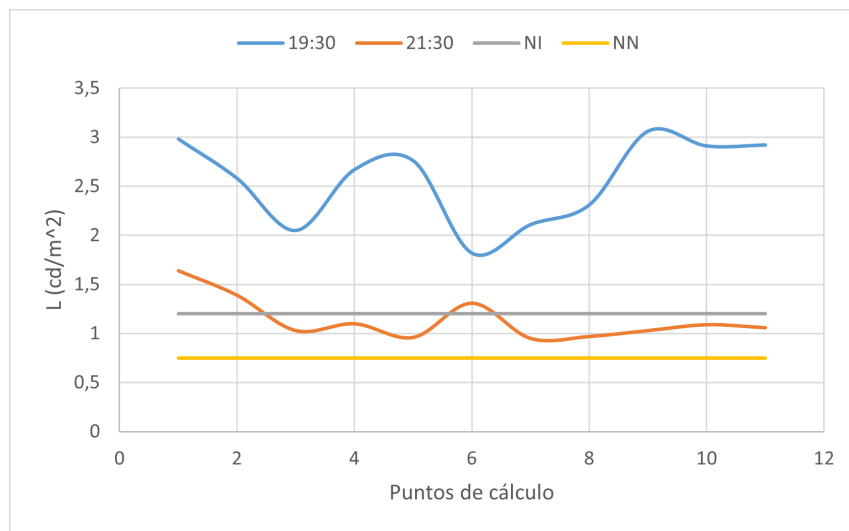


Figura 76: Luminancia - ciclovía - tramo 2.1

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.2 (ver Figura 77), los puntos PC3 y PC4 presentan una disminución de luminancia en ambos horarios, debido a la falta de superficies reflectantes y la sombra generada por vegetación. Como resultado, el PC3 no cumple con la normativa NI a las 21:30. Asimismo, bajo la normativa ARCENNR, todos los puntos de cálculo cumplen con los niveles de luminancia en ambos horarios.

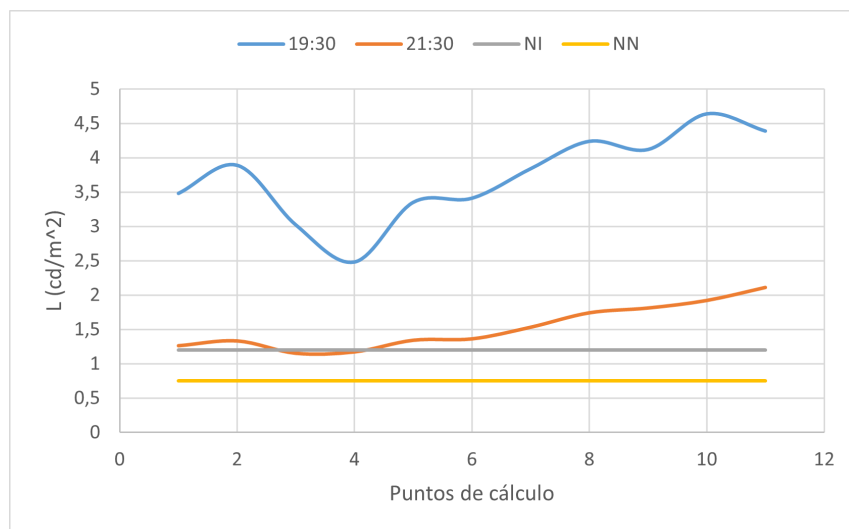


Figura 77: Luminancia - ciclovía - tramo 2.2

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.3 (véase Figura 78) se verifica el cumplimiento normativo en ambos horarios. Al inicio del tramo se registra una luminancia levemente elevada, atribuible

a la presencia de una luminaria de sodio que incrementa la reflectancia. Luego, los niveles disminuyen debido a la obstrucción lumínica generada por la vegetación.

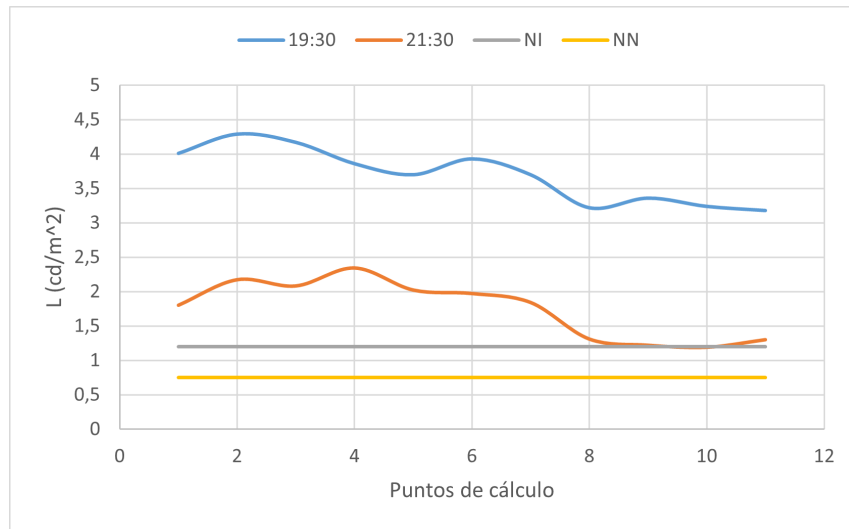


Figura 78: Luminancia - ciclovía - tramo 2.3

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.4 (ver Figura 79), las mediciones realizadas a las 19:30 cumplen con los parámetros establecidos por las normativas RETILAP y ARCENNR. No obstante, las mediciones realizadas a las 21:30, los PC6, PC8, PC9, PC10 y PC11 presentan incumplimientos con respecto a la RETILAP. Sin embargo, bajo los criterios de la ARCENNR, si cumple con los valores normados en los dos horarios.

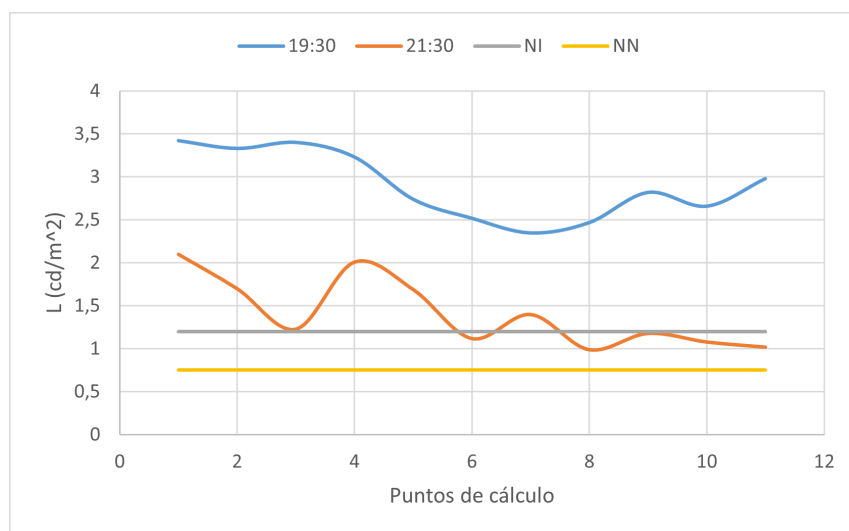


Figura 79: Luminancia - ciclovía - tramo 2.4

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.5, los puntos PC2 y PC3 no cumplen con la normativa NI al 50 %, es decir, a las 21:30, debido a la baja reflectancia causada por el cableado de

telecomunicaciones. La luminancia se incrementa levemente por una luminaria de sodio y la reflectancia del Supermaxi. Los demás puntos cumplen con la normativas NI y NN en ambos horarios.

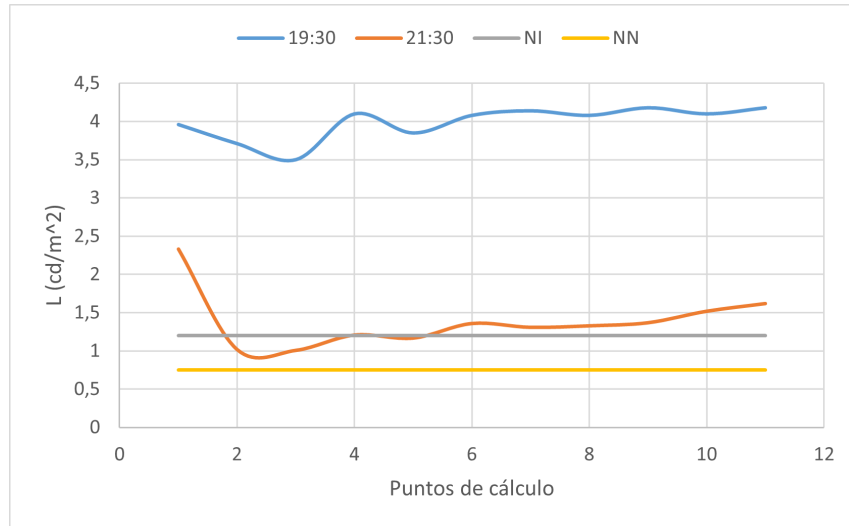


Figura 80: Luminancia - ciclovía - tramo 2.5

*Fuente:* Autores

Se observa que, a las 21:30 para el tramo 2.6 (véase figura 81), los niveles de luminancia desde el PC4 en adelante no cumplen con la normativa NI, situación atribuible a la sombra generada por el cableado de telecomunicaciones y al modo de operación al 50 %, que reduce significativamente la luminancia. Sin embargo, bajo la normativa NN, los valores sí cumplen. Por otro lado, en las mediciones realizadas a las 19:30, todos los puntos de cálculo cumplen con ambas normativas.

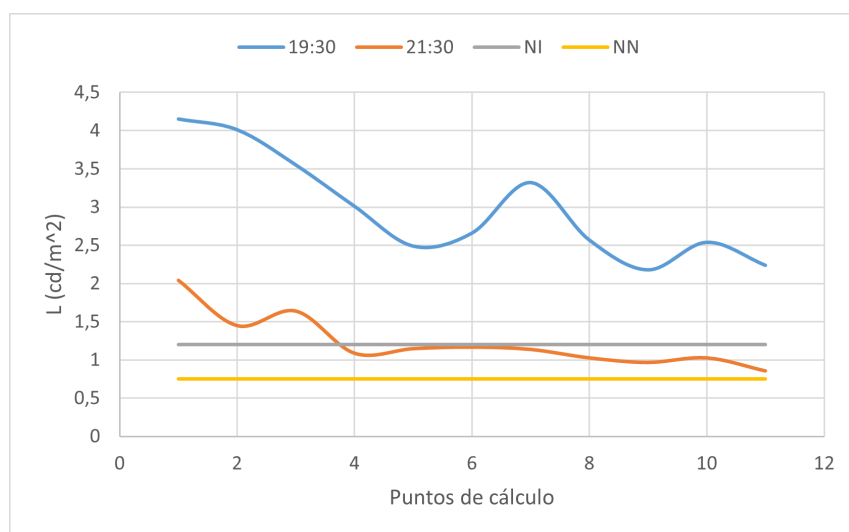


Figura 81: Luminancia - ciclovía - tramo 2.6

*Fuente:* Autores

La Figura 82, correspondiente al tramo 2.7, muestra que a las 21:30 únicamente el PC1 cumple con la normativa NI, debido a la baja reflectancia de la zona. En contraste, a las 19:30 todos los puntos de cálculo cumplen con dicha normativa. Bajo el criterio de la ARCENNR, las mediciones se encuentran dentro de los niveles requeridos en ambos horarios.

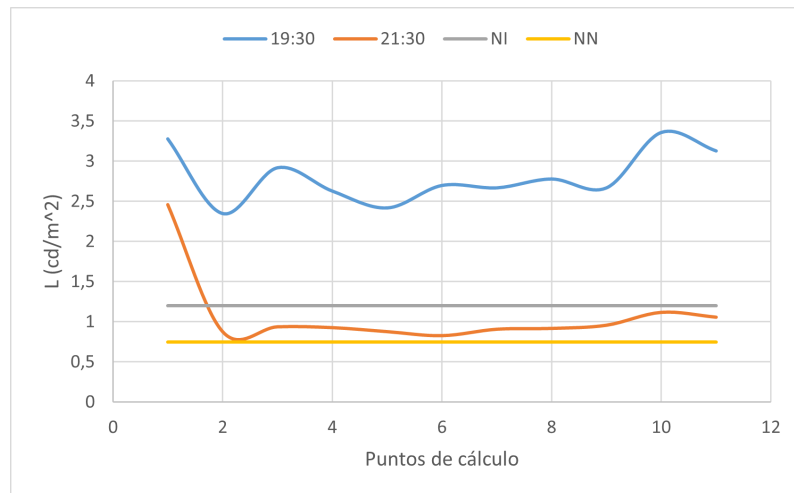


Figura 82: Luminancia - ciclovía - tramo 2.7

*Fuente:* Autores

En el tramo 2.8 (véase Figura 83), se observa un incremento de luminancia al inicio del tramo en las mediciones de las 19:30, atribuible al aporte reflectivo del edificio azul. Como resultado, se verifica el cumplimiento de las normativas RETILAP y ARCENNR en ambos horarios.

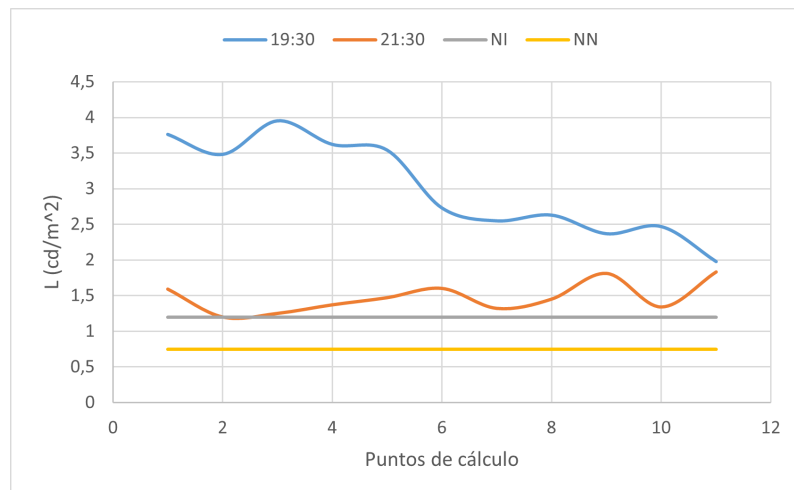


Figura 83: Luminancia - ciclovía - tramo 2.8

*Fuente:* Autores

En la Figura 84, correspondiente al tramo 2.9, se observa que únicamente los

puntos PC1, PC2 y PC4 cumplen con la normativa RETILAP en las mediciones realizadas a las 21:30. Esta condición se debe a la sombra proyectada por la presencia de tres árboles que, aunque de forma indirecta, afectan la ciclovía. No obstante, al aplicar la normativa ARCENNR, los valores medidos en ambos horarios cumplen con los requisitos establecidos.

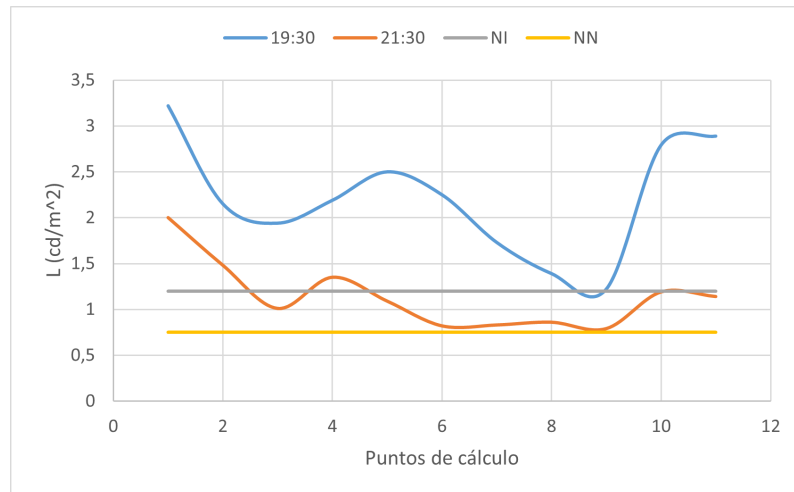


Figura 84: Luminancia - ciclovía - tramo 2.9

**Fuente:** Autores

En la Figura 85, correspondiente al tramo 2.10, se observa un pico de luminancia en el punto PC5, atribuible a la presencia de una luminaria de sodio ubicada en la superficie de medición. No obstante, a partir de dicho punto, aunque los niveles disminuyen, se mantienen elevados debido a la reflectancia generada por una pantalla publicitaria ubicada frente a la parada de autobuses. Como resultado se verificar el cumplimiento de las normativas en ambos horarios.

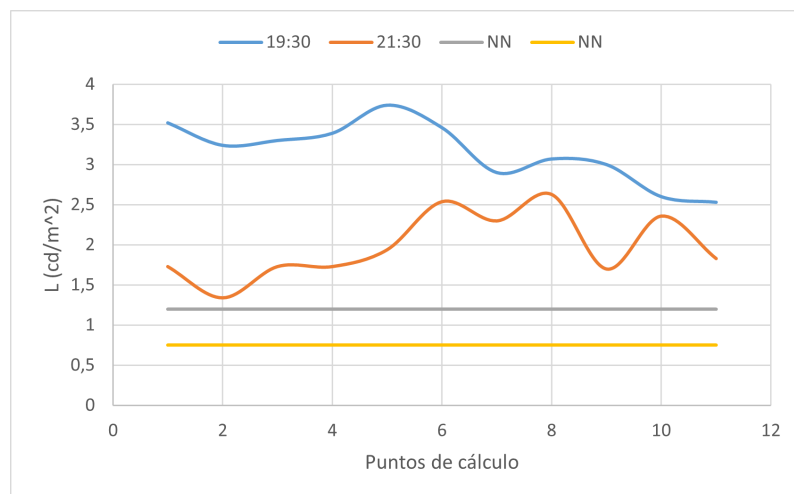


Figura 85: Luminancia - ciclovía - tramo 2.10

**Fuente:** Autores

## 4.2. Análisis comparativo de los resultados anteriores y actuales

Se realiza un análisis comparativo entre los datos de la investigación de septiembre de 2024 y los resultados actuales abril y mayo 2025, con el fin de evaluar la evolución del desempeño del sistema de alumbrado fotovoltaico.

### 4.2.1. Resultado comparativo de iluminancia - acera

Como se puede observar en la Figura 86, los niveles de iluminancia medidos actualmente en todos los tramos son iguales o superiores a los valores registrados inicialmente, siendo el tramo 2.8 el que presenta la mayor diferencia (32.76 lux a 61.55 lux) y el tramo 1.3 el menor (52.20 lux a 63.50 lux).

Las diferencias observadas entre los datos anteriores y los actuales no se deben a modificaciones ni mejoras en el sistema, sino que responden principalmente a factores como las condiciones ambientales variables y la mayor precisión en las mediciones realizadas. Elementos como la presencia de vegetación, así como las condiciones de humedad y temperatura, pueden influir en los niveles de iluminancia registrados, lo que explica las leves variaciones observadas en las mediciones.

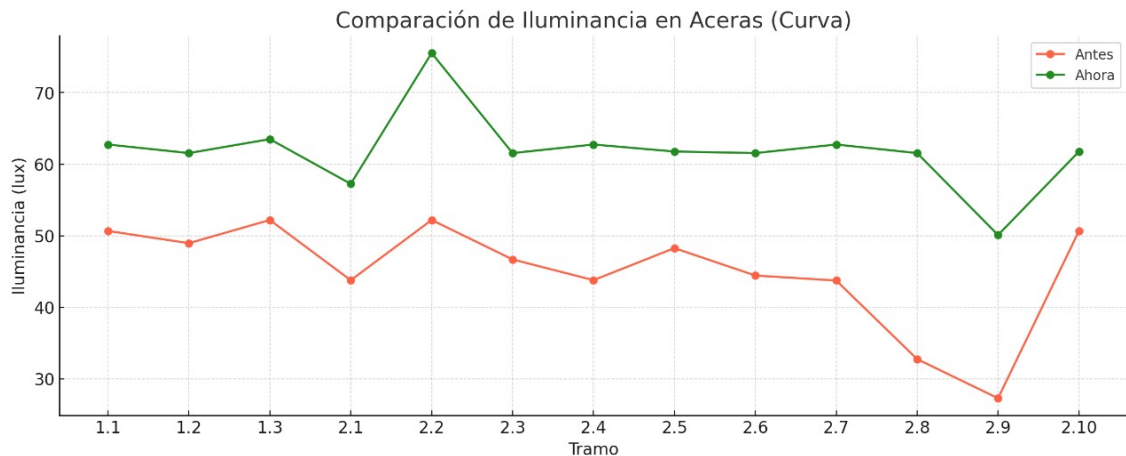


Figura 86: Comparación de la iluminancia en la acera: anterior y actualmente

*Fuente:* Autores

Estos resultados (ver Figura 86) demuestran la ausencia de reducción de los niveles de iluminancia, indicando que el sistema mantiene un desempeño estable y confiable a lo largo de su vida útil. Asimismo, los niveles medidos en todos los tramos confirman el adecuado diseño e instalación del sistema, así como su capacidad para cumplir de manera sostenida con los requisitos establecidos por las normativas RETILAP y ARCENNR.

#### 4.2.2. Resultado comparativo de iluminancia - ciclovía

En general, como se ilustra en la Figura 87, la mayoría de los tramos de la ciclovía mantienen niveles de luminancia iguales o superiores a los registros iniciales. El tramo 2.8 muestra la mayor diferencia (30.82 lux a 61.55 lux), mientras que el tramo 1.3 presenta la menor (50.22 lux a 52.09 lux), siendo estas variaciones atribuibles principalmente a condiciones ambientales y a mediciones más precisas en la evaluación actual, y no a cambios o mejoras en el sistema.

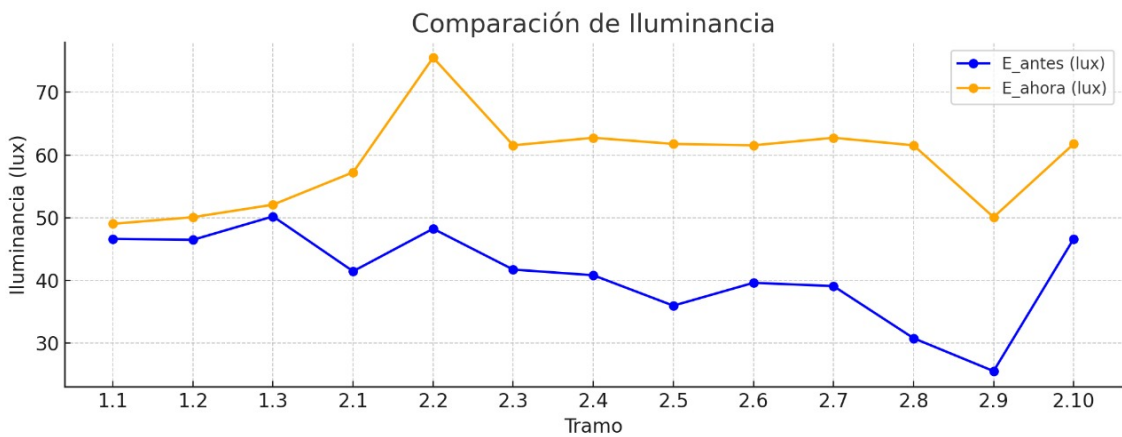


Figura 87: Comparación de la iluminancia en la ciclovía: anterior y actualmente

*Fuente:* Autores

En general, la mayoría de los PC de los tramos cumplen con los niveles establecidos por las normativas RETILAP y ARCENNR, evidenciando que el sistema mantiene un desempeño constante desde su instalación, garantizando visibilidad adecuada para los ciclistas durante la noche y contribuyendo a un entorno urbano seguro y funcional.

#### 4.2.3. Resultado comparativo de luminancia - acera

La evaluación de luminancia en los tramos de la acera indica que los valores actuales son iguales o superiores a los medidos inicialmente, tal como se muestra en la Figura 88. El tramo 2.5 registra la mayor diferencia (1.28 cd/m<sup>2</sup> a 2.75 cd/m<sup>2</sup>), mientras que el tramo 1.2 presenta la menor variación. Estas diferencias se deben principalmente a factores ambientales, a la reflectancia de las superficies y a una mayor precisión en las mediciones recientes, y no se deben a modificaciones o mejoras en el sistema.

Los resultados mostrados en la Figura 88 indican que el sistema ha mantenido sus niveles de luminancia, sin presentar deterioro ni disminución en la emisión de

luz de las luminarias, manteniendo un desempeño constante a lo largo del tiempo, garantizando visibilidad peatonal, confort visual y eficiencia en el alumbrado público, al mismo tiempo que la mayoría de los tramos se mantiene dentro de los niveles requeridos por las normativas.

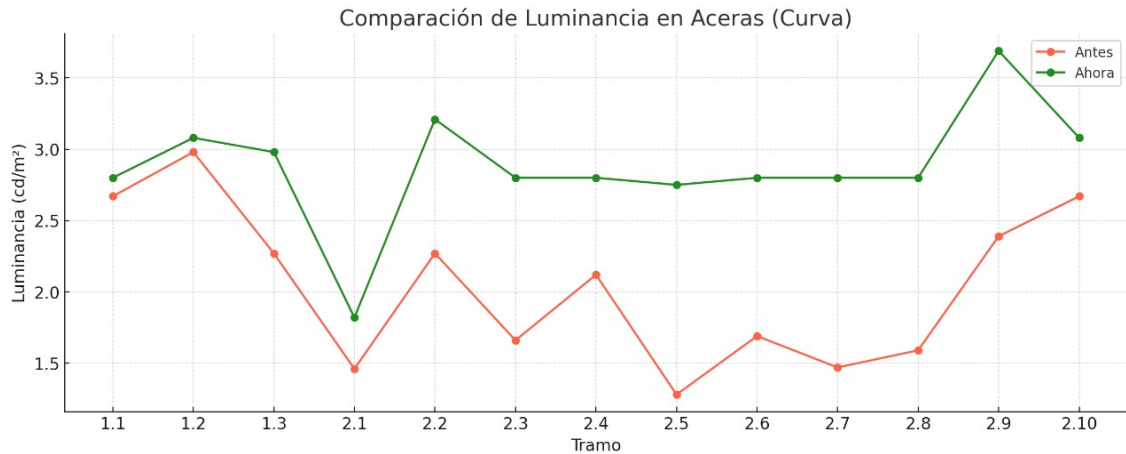


Figura 88: Comparación de la luminancia en la acera: anterior y actualmente

*Fuente:* Autores

#### 4.2.4. Resultado comparativo de luminancia - ciclovia

Como se ilustra en la Figura 89, la evaluación de luminancia en los tramos de la ciclovia indica que los valores actuales son iguales o superiores a los registros iniciales. El tramo 2.5 presenta la mayor diferencia (1.28  $\text{cd/m}^2$  a 2.75  $\text{cd/m}^2$ ), mientras que el tramo 1.1 muestra la menor variación (2.67  $\text{cd/m}^2$  a 3.07  $\text{cd/m}^2$ ).

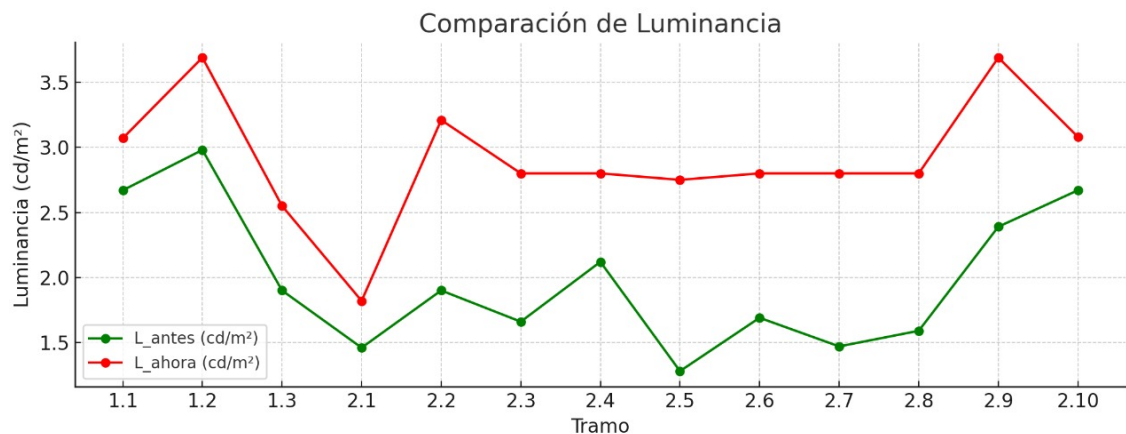


Figura 89: Comparación de la luminancia en la ciclovia: anterior y actualmente

*Fuente:* Autores

Estas variaciones en los niveles de luminancia no se deben a modificaciones o mejoras en el sistema, sino que responden a factores como las condiciones ambientales,

la reflectancia de las superficies y una mayor precisión en las mediciones realizadas en la evaluación actual.

Este análisis demuestra que el sistema mantiene un desempeño constante desde su instalación, sin evidenciar deterioro ni pérdida de luminancia. Las superficies de la ciclovía continúan reflejando adecuadamente la luz, asegurando confort visual para ciclistas y peatones, así como una percepción de seguridad óptima, dado que áreas bien iluminadas contribuyen a entornos urbanos más seguros. Además, la mayoría de los tramos cumple con los niveles mínimos establecidos por las normativas RETILAP y ARCENNR, confirmando la eficiencia sostenida del sistema a lo largo del tiempo.

### 4.3. Análisis de los resultados de las encuestas

Las encuestas (véase sección 3.4) se aplicaron a 40 transeúntes que circulan por la acera y la ciclovía, 20 de manera presencial (en campo) y 20 en formato online a través de Google Forms. Se enfocaron en aspectos clave como el nivel de iluminación, la claridad visual nocturna y la percepción de seguridad tras la instalación de luminarias LED solares.

De las 40 personas encuestadas en la pregunta 1 (véase Figura 90), el 80 % calificó positivamente la calidad de la iluminación, con un 32.5 % (13 personas) seleccionando “Muy buena” y un 47.5 % (19 personas) “Buena”. El 20 % restante (8 personas) adoptó una postura neutral, y no se registraron respuestas negativas. Estos resultados indican que la mayoría de los usuarios perciben un nivel adecuado de visibilidad y confort visual, lo que respalda la viabilidad del sistema de luminarias LED fotovoltaicas.

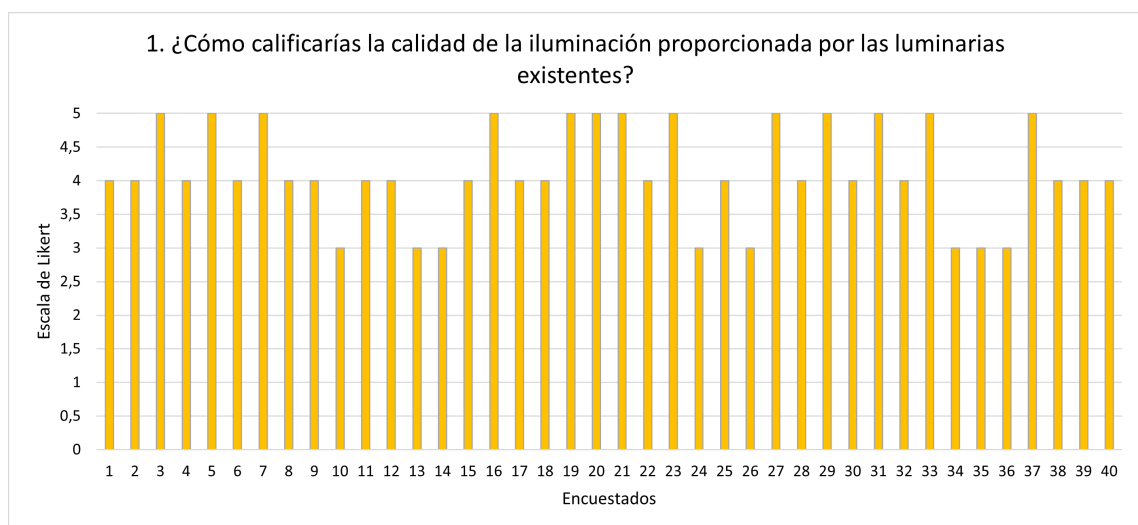


Figura 90: Resultados de encuesta - pregunta 1

*Fuente:* Autores

Para la pregunta 2 (véase Figura 91), de los 40 encuestados, el 35 % (14 personas) seleccionó la opción “Totalmente de acuerdo” y el 40 % (16 personas) eligió “De acuerdo”. En conjunto, el 75 % (30 personas) de los participantes evaluó de manera positiva la cuestión planteada. Por otro lado, el 20 % (8 personas) adoptó una postura neutral y el 5 % (2 personas) restante expresó cierto nivel de inconformidad.

Al analizar los resultados de esta interrogante, se observó que más de la mitad de los encuestados perciben una visibilidad nocturna adecuada, lo cual indica un impacto positivo en la percepción del entorno. Este resultado respalda la viabilidad de implementar luminarias LED fotovoltaicas, debido a su efectividad para garantizar niveles apropiados de visibilidad durante la noche.

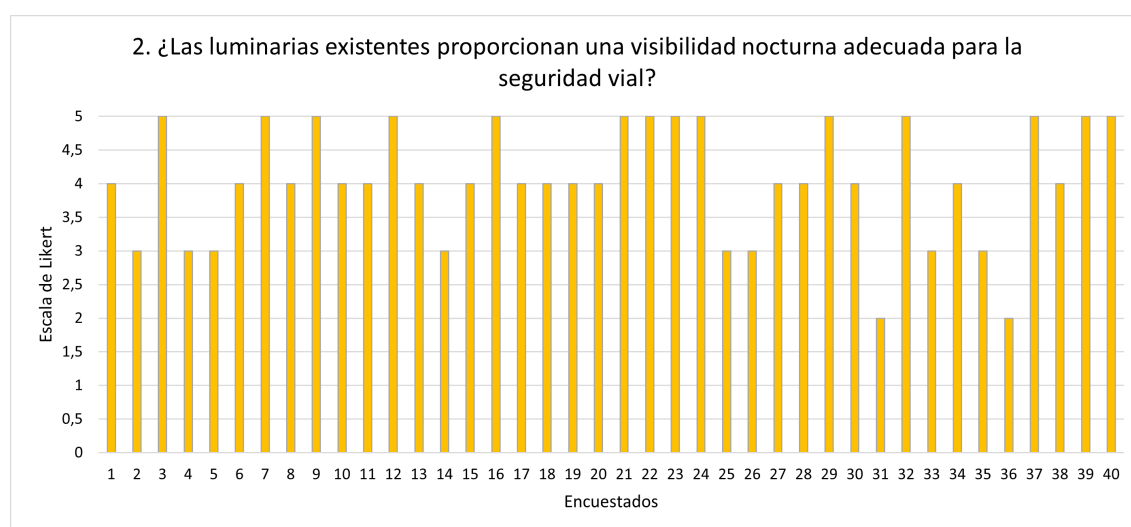


Figura 91: Resultados de encuesta - pregunta 2

*Fuente:* Autores

La tercera pregunta (véase Figura 92) aborda la eficiencia en el consumo eléctrico de las luminarias. De los 40 encuestados, el 52.5 % (21 personas) manifestó estar “Totalmente de acuerdo”, el 17.5 % (7 personas) seleccionó “De acuerdo” con que las luminarias son eficientes, mientras que el 22.5 % (9 personas) adoptó una postura neutral y tan solo el 7.5 % (3 personas) consideró que no lo son.

Este resultado refleja una percepción positiva respecto al desempeño energético, lo cual respalda la viabilidad de implementar luminarias LED fotovoltaicas.

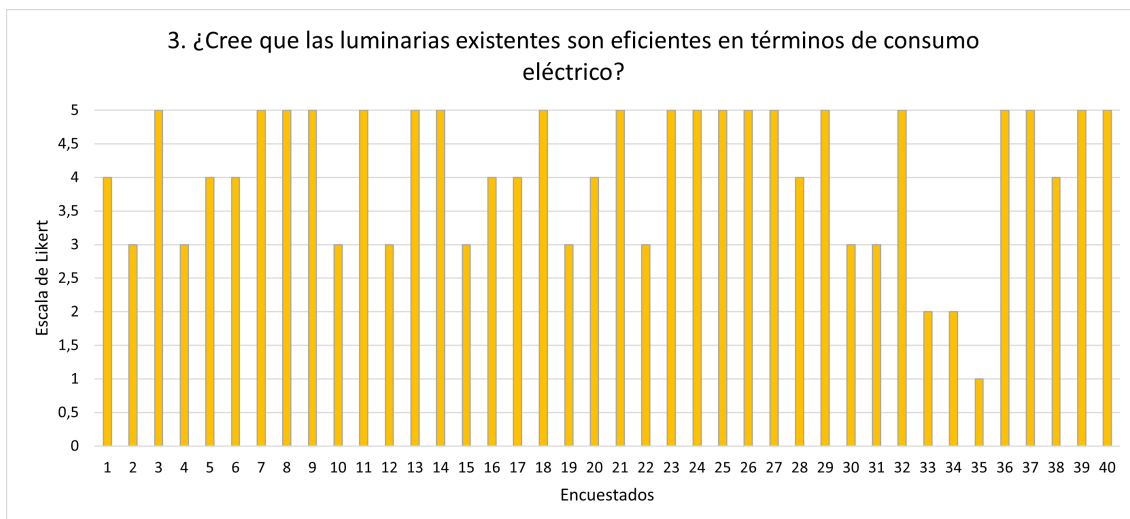


Figura 92: Resultados de encuesta - pregunta 3

*Fuente:* Autores

La pregunta 4 (véase Figura 93) se enfoca en evaluar el grado de acuerdo respecto a si las luminarias LED contribuyen adecuadamente a la seguridad vial en la ciclovía. Del total de 40 encuestados, el 40 % (16 personas) seleccionó “Totalmente de acuerdo” y otro 40 % (16 personas) eligió “De acuerdo”, lo que significa que el 80 % (32 personas) está de acuerdo con que las luminarias contribuyen a la seguridad vial en la ciclovía. Por otro lado, el 12,5 % (5 personas) adoptó una postura neutral y el 7,5 % restante (3 personas) manifestó desacuerdo. Este resultado indica una percepción mayoritariamente favorable, constituyendo un indicador positivo para la implementación de luminarias LED, dada su contribución al fortalecimiento de la seguridad vial en la ciclovía

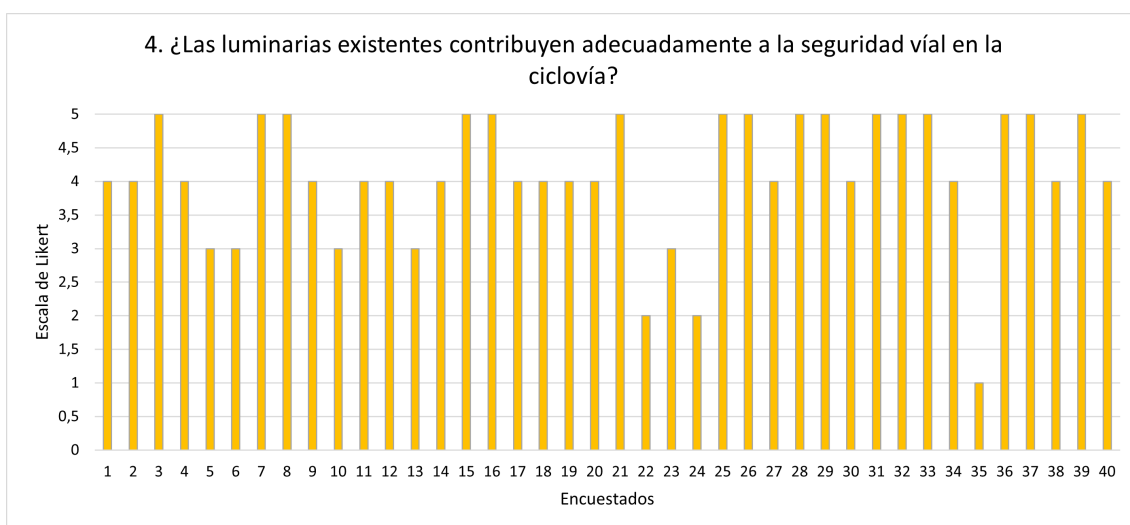


Figura 93: Resultados de encuesta - pregunta 4

*Fuente:* Autores

Para la pregunta 5 (véase Figura 94), se observa que el 57.5% (23 personas) de los encuestados seleccionó las opción “Totalmente de acuerdo”, el 32.5% (13 personas) optó por “De acuerdo”, lo que representa una valoración favorable. El 10% (4 personas) restante adoptó una postura neutral o expresó desacuerdo.

Este resultado evidencia un alto nivel de aceptación hacia la implementación de un sistema de iluminación LED fotovoltaico en otras veredas de la ciudad, lo cual representa un impacto positivo y refuerza la viabilidad de extender esta tecnología a otros sectores.

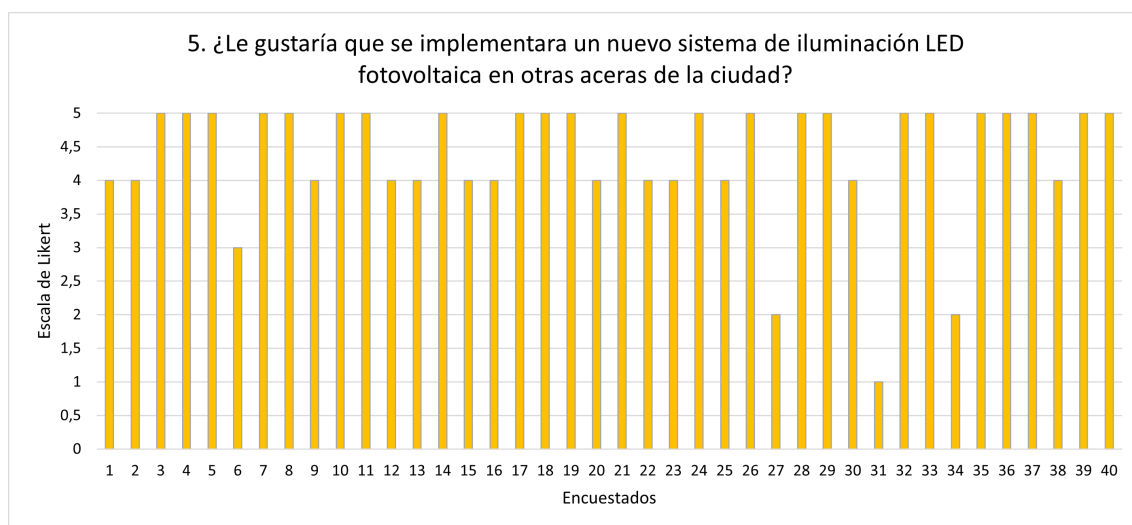


Figura 94: Resultados de encuesta - pregunta 5

**Fuente:** Autores

La pregunta 6 (véase Figura 95) se enfoca en determinar si la instalación de luminarias LED fotovoltaicas ha mejorado la estética de la calle. De los 40 encuestados, el 55% (22 personas) seleccionó la opción “Totalmente de acuerdo” y el 30% (12 personas) eligió “De acuerdo”, lo que representa un 85% (34 personas) de respuestas positivas. El 15% restante (6 personas) adoptó una postura neutral, sin que se registraran opiniones en desacuerdo.

Estos resultados reflejan una alta aceptación por parte de los usuarios, lo que respalda la implementación de sistemas LED fotovoltaicos como una medida favorable no solo en términos funcionales, sino también en el mejoramiento estético del entorno urbano.

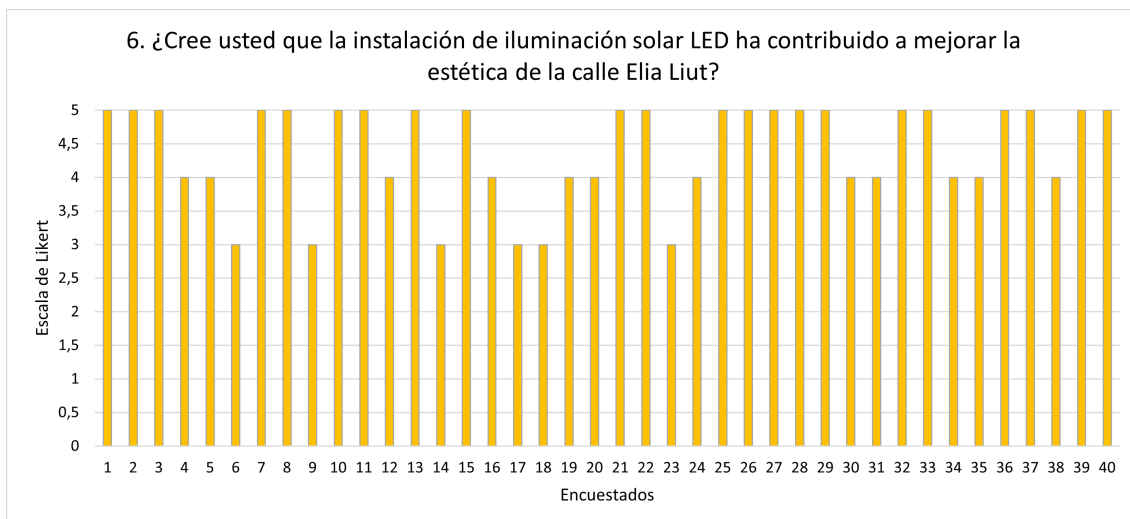


Figura 95: Resultados de encuesta - pregunta 6

*Fuente:* Autores

En la pregunta 7 (véase Figura 96), se observa que, de los 40 encuestados, no se registraron respuestas en desacuerdo. El 12.5 % (5 personas) adoptó una postura neutral, mientras que el 87.5 % (35 personas) manifestó estar de acuerdo con que la instalación de luminarias LED fotovoltaicas ha mejorado la sensación de seguridad al caminar por la acera o circular por la ciclovía.

Este resultado respalda la viabilidad de implementar esta tecnología por su impacto positivo en peatones y ciclistas.

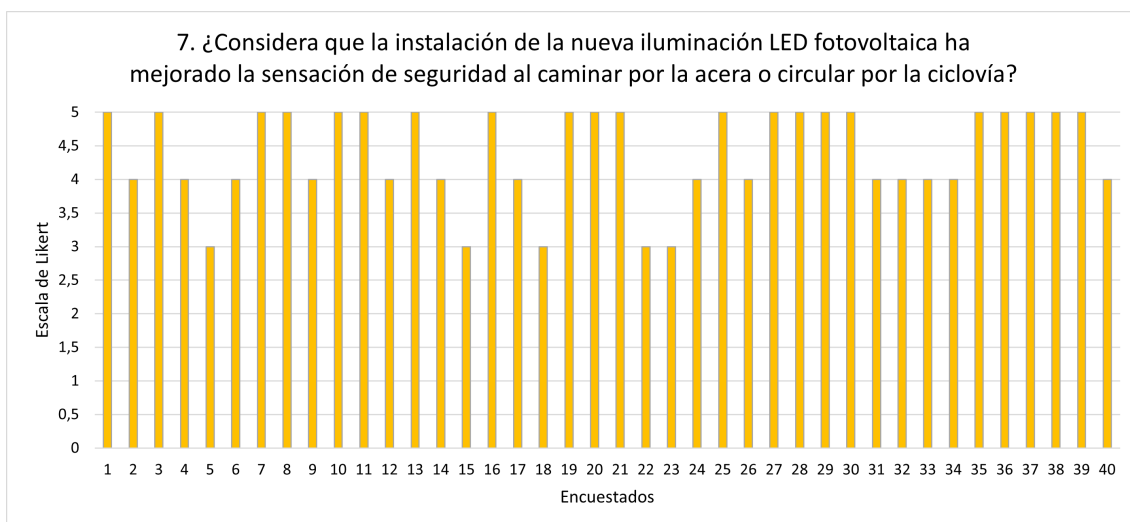


Figura 96: Resultados de encuesta - pregunta 7

*Fuente:* Autores

En la pregunta 8 (véase Figura 97) se observa que el 82.5 % (33 personas) de los 40 encuestados están de acuerdo en que la implementación de las luminarias LED

ha reducido los accidentes en la ciclovía, mientras que el 15 % (6 personas) mantiene una postura neutral y el 2.5 % (1 persona) está en desacuerdo.

Este resultado es favorable respecto a la instalación de luminarias LED, destacando su impacto positivo en la reducción de accidentes en la ciclovía.

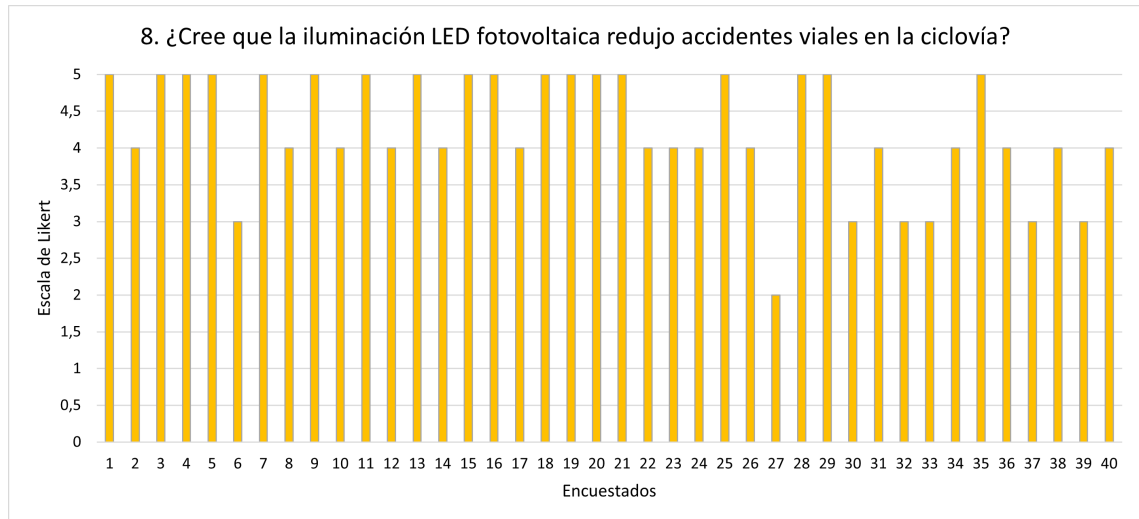


Figura 97: Resultados de encuesta - pregunta 8

*Fuente:* Autores

La Figura 97 muestra que un 87.5 % (35 personas) de los 40 encuestados está de acuerdo o totalmente de acuerdo con la implementación de luminarias LED en otros sectores, mientras que el 10 % (4 personas) adoptó una postura neutral y el 2.5 % (1 persona) expresó desacuerdo.

Este resultado evidencia una percepción positiva respecto a su impacto en la reducción del consumo eléctrico.

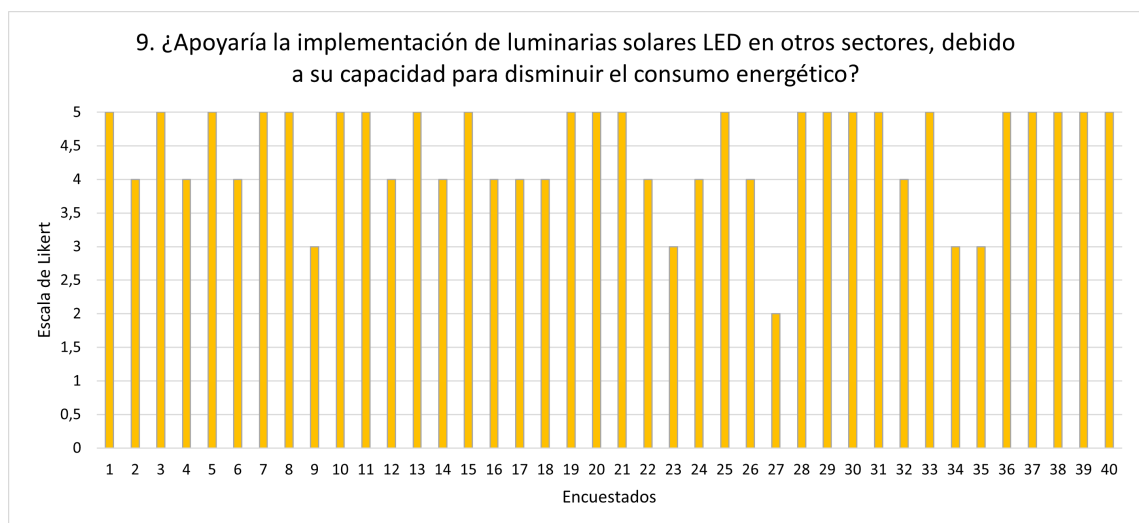


Figura 98: Resultados de encuesta - pregunta 9

*Fuente:* Autores

En la décima pregunta (véase figura 99), se observa que el 87.5 % (35 personas) de los 40 encuestados están de acuerdo con la implementación de energía solar fotovoltaica para la iluminación pública, mientras que el 12.5 % restante (5 personas) se posiciona de forma neutral o en desacuerdo.

Este resultado refleja que más del 50 % de los encuestados apoyan la propuesta, lo cual representa un impacto positivo en la adopción de luminarias LED como sistema de iluminación pública.

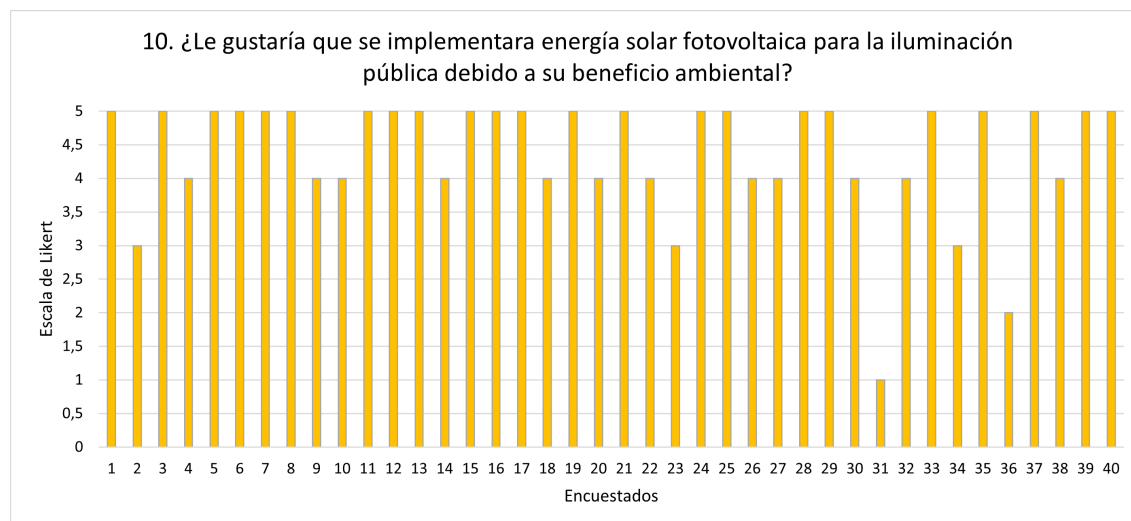


Figura 99: Resultados de encuesta - pregunta 10

*Fuente:* Autores

En conclusión, la encuesta confirma que el sistema fotovoltaico instalado es ampliamente aceptado por la comunidad, generando una experiencia positiva tanto en términos de funcionalidad como de contribución ambiental. Además, se evidencia que el SFA ha mejorado la seguridad y el confort visual de peatones (especialmente estudiantes), ciclistas y conductores, al proporcionar iluminación uniforme y adecuada que facilita la movilidad y reduce riesgos a lo largo de la avenida.

#### 4.4. Análisis de viabilidad económica del sistema fotovoltaico en comparación con el tradicional de sodio

Para el sistema led fotovoltaico es necesario calcular el tiempo equivalente en horas durante el cual la luminaria opera al 100 % de su capacidad, ya que el análisis se hace operando a máxima capacidad (ver Tabla 36). De acuerdo con la ficha técnica de la luminaria, para un ciclo de funcionamiento de 12 horas, la luminaria trabaja 3 horas al 100 %, 2 horas al 50 %, 5 horas al 20 % y 2 horas al 50 %.

Tramo	Intensidad (%)	Horas reales (h)	Factor de carga	Horas eq. 100 % (h)
1	100	3	1.00	3.00
2	50	2	0.50	1.00
3	20	5	0.20	1.00
4	50	2	0.50	1.00
<b>Total</b>		<b>12</b>		<b>6.00</b>

Tabla 36: Equivalencia de luminaria operando al 100 %

Al realizar el cálculo correspondiente, se determinó que la luminaria led opera efectivamente durante 6 horas diarias al 100 % de su capacidad. Según el datasheet del fabricante (ver Anexo 3), la vida útil de la luminaria es de 60000 horas. Esto equivale a 10000 días de operación continua, lo que corresponde a una vida útil total de 27.4 años.

De igual manera, para el caso del sistema de alumbrado con tecnología de sodio, este opera al 100 % de su capacidad durante 12 horas diarias, específicamente desde las 18:00 hasta las 06:00. De acuerdo con la ficha técnica de la luminaria (véase Anexo 4), su vida útil es de 24000 horas, lo que equivale a aproximadamente 2000 días de funcionamiento continuo, esto corresponde a una vida útil total de 5,5 años. Sin embargo, para fines de análisis se ha considerado un período de 5 años.

La Tabla 37 presenta el costo total acumulado del sistema led fotovoltaico durante su vida útil, considerando inversión inicial y costos de mantenimiento como limpieza y reemplazo de componentes. De igual forma, la Tabla 38 detalla el análisis económico del sistema convencional de sodio bajo los mismos parámetros. No obstante, en el caso del sistema de sodio, también se incorpora el costo asociado al consumo de energía eléctrica. Esta comparación integral permite visualizar el comportamiento económico de ambos sistemas a largo plazo, sirviendo como base para la evaluación de su viabilidad económica.

Año	Inversión inicial (\$)	Cambio de batería (\$)	Limpieza y verificación electrónica (\$)	Total anual (\$)
0	14.089,96	0	0	14.089,96
1	0	0	90	90
2	0	0	90	90
3	0	0	90	90
4	0	0	90	90
5	0	0	90	90
6	0	0	90	90
7	0	0	90	90
8	0	0	90	90
9	0	1.500	90	1.590
10	0	0	90	90
11	0	0	90	90
12	0	0	90	90
13	0	0	90	90
14	0	0	90	90
15	0	0	90	90
16	0	0	90	90
17	0	0	90	90
18	0	1.500	90	1.590
19	0	0	90	90
20	0	0	90	90
21	0	0	90	90
22	0	0	90	90
23	0	0	90	90
24	0	0	90	90
25	0	0	90	90
26	0	0	90	90
27.4	0	0	90	90
<b>Total acumulado durante la vida útil del proyecto (\$)</b>				<b>19.519,96</b>

Tabla 37: Costos anuales acumulados del sistema fotovoltaico durante su vida útil

Año	Inversión inicial (\$)	Costo de energía (\$)	Cambio de comp. internos de la luminaria (\$)	Limpieza anual (\$)	Total anual (\$)
0	6.794,971	0	0	0	6.794,971
1	0	525,6	0	60	585,6
2	0	525,6	0	60	585,6
3	0	525,6	0	60	585,6
4	0	525,6	0	60	585,6
5	0	525,6	920	60	1.505,6
6	0	525,6	0	60	585,6
7	0	525,6	0	60	585,6
8	0	525,6	0	60	585,6
9	0	525,6	0	60	585,6
10	0	525,6	920	60	1.505,6
11	0	525,6	0	60	585,6
12	0	525,6	0	60	585,6
13	0	525,6	0	60	585,6
14	0	525,6	0	60	585,6
15	0	525,6	920	60	1.505,6
16	0	525,6	0	60	585,6
17	0	525,6	0	60	585,6
18	0	525,6	0	60	585,6
19	0	525,6	0	60	585,6
20	0	525,6	920	60	1.505,6
21	0	525,6	0	60	585,6
22	0	525,6	0	60	585,6
23	0	525,6	0	60	585,6
24	0	525,6	0	60	585,6
25	0	525,6	920	60	1.505,6
26	0	525,6	0	60	585,6
27.4	0	525,6	0	60	585,6
<b>Total acumulado durante la vida útil del proyecto (\$)</b>					<b>27.205,91</b>

Tabla 38: Costos anuales acumulados del sistema de sodio durante su vida útil

Anteriormente se mencionó que la vida útil de la luminaria es de 5,5 años, para fines de análisis se ha redondeado a 5 años. En la Tabla 38 se muestra un periodo total de 27,4 años, esto se debe a que se ajustó la duración del proyecto para poder comparar ambos sistemas dentro del mismo periodo de tiempo. Esto implica que, cada 5 años (fin de vida útil sodio), se reemplazan los componentes internos de la luminaria para mantener su funcionamiento durante toda la vida útil del proyecto analizado.

A continuación, en la Tabla 39 se presenta una comparación entre ambos sistemas con el fin de determinar cuál resulta más viable a largo plazo.

<b>Criterio</b>	<b>Sistema Sodio</b>	<b>Sistema LED Fotovoltaico</b>
Eficiencia energética	Moderada	Alta
Vida útil	24 000 h	60 000 h
Consumo de energía	14.191,2 \$	No consume
Calidad de iluminación	Amarillenta	Blanco brillante
Contaminación lumínica	Alta	Baja
Impacto ambiental	Contiene sodio y xenón	Libre de sustancias tóxicas
Mantenimiento	6.220,00 \$	5.430,00 \$
Inversión inicial	6.794,71 \$	14.089,96 \$
Costo a largo plazo (27,4 años)	27.205,91 \$	19.519,96 \$
<b>Ahorro total con LED fotovoltaico</b>		<b>7.685,95 \$</b>

Tabla 39: Comparación entre sistema de sodio y sistema LED fotovoltaico

Al comparar ambos sistemas de alumbrado público a lo largo de una vida útil de 27,4 años, se observa que el sistema LED fotovoltaico representa una opción significativamente más económica frente al sistema tradicional de sodio. Mientras que el costo total acumulado del sistema de sodio asciende a 27.205,91 dólares (incluyendo inversión inicial, mantenimiento y consumo de energía eléctrica), el sistema LED fotovoltaico alcanza un costo total de 19.519,96 dólares, debido a que no incurre en gastos por consumo energético y requiere menos mantenimiento a largo plazo. Esto se traduce en un ahorro económico de 7.685,95 dólares, lo que representa una reducción del 28,25 % en los costos totales. Por lo tanto, desde una perspectiva financiera, el sistema LED fotovoltaico no solo es más sostenible, sino que también se presenta como la opción más **VIABLE** a lo largo de su vida útil.

## Capítulo 5

### 5. Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- La mayoría de las mediciones de luminancia e iluminancia realizadas cumplen con los requisitos establecidos por las normativas ARCENNR (normativa nacional) y RETILAP (normativa internacional). No obstante, se identificaron valores atípicos o excesivamente elevados en algunos tramos, como en el tramo 1.1, donde la presencia de luminarias LED de alta potencia alrededor del redondel del aeropuerto genera un incremento considerable en los niveles de iluminación. Asimismo, se observaron niveles elevados en ciertos tramos adicionales donde se encuentran luminarias de sodio de alta presión, lo que contribuye al incremento de iluminación. De manera similar, en el tramo 2.10, los resultados se ven alterados por la interferencia luminosa generada por una pantalla LED publicitaria ubicada en la parada de autobús.

Asimismo, se detectaron tramos con deficiencia en los niveles de iluminación debido a la obstrucción generada por la vegetación existente en el área. Las mediciones efectuadas a las 21:30 evidencian ciertos valores que no cumplen con los criterios establecidos por la normativa RETILAP; sin embargo, al aplicar los parámetros definidos por la ARCENNR, la mayoría de los PC se encuentran dentro de los rangos normativos permitidos.

Al comparar los datos anteriores con los registros actuales, se observa que los niveles de iluminancia y luminancia se mantienen dentro del rango de las normativas establecidas por la NI y NN. Esta estabilidad asegura que la cantidad de luz sobre aceras y ciclovías sigue siendo adecuada, proporcionando confort visual a peatones y ciclistas. Además, contribuye a la percepción de seguridad, ya que las zonas bien iluminadas se perciben como más seguras en entornos urbanos. En conclusión, el sistema de alumbrado público fotovoltaico conserva su desempeño desde su instalación, manteniendo niveles de iluminación adecuados tanto en cantidad como en calidad de la luz.

- Al evaluar la percepción de los peatones y ciclistas, los resultados evidencian una alta aceptación y un impacto positivo frente a la implementación del sistema de alumbrado LED fotovoltaico. Esta favorable acogida se debe, en gran medida, a que se trata de un sistema sostenible, eficiente y libre de sustancias tóxicas, lo que refuerza su viabilidad y lo hace aún más valorado por los

usuarios. Además, los encuestados manifestaron que la mejora en los niveles de iluminación contribuye significativamente a la sensación de seguridad durante las horas nocturnas, incentivando el uso peatonal y ciclístico de la vía.

- Desde una perspectiva económica, se observa que la inversión inicial del sistema de alumbrado LED fotovoltaico es de 14.089,96 \$, siendo considerablemente mayor en comparación con el sistema de sodio, cuya inversión inicial es de 6.794,71 \$. No obstante, el sistema de sodio presenta un aumento significativo en los costos a largo plazo, debido a su mayor demanda de mantenimiento, reposición de luminarias y consumo energético. Al considerar tanto los costos de energía como los costos operativos y de mantenimiento durante la vida útil de los sistemas, se concluye que el sistema fotovoltaico resulta financieramente más viable. De hecho, se proyecta que a lo largo de su vida útil se generaría un ahorro total de aproximadamente 7.685,95 \$ en comparación con el sistema convencional.

Otro aspecto clave a considerar es la diferencia en la vida útil de las luminarias. Las lámparas de sodio tienen una duración estimada de 24.000 horas (aproximadamente 5,5 años), mientras que las luminarias LED alcanzan una vida útil de hasta 60.000 horas (aproximadamente 27,4 años). Esto implica que por cada ciclo completo de funcionamiento de una luminaria LED, una lámpara de sodio deberá ser reemplazada al menos cinco veces. Esta diferencia impacta de manera directa en los costos de reposición y en la frecuencia de las intervenciones técnicas necesarias, lo que incrementa sustancialmente los costos operativos del sistema de sodio frente al sistema LED fotovoltaico.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda priorizar la implementación de sistemas de alumbrado público LED con energía solar en nuevos proyectos o en procesos de renovación. Aunque el costo inicial puede ser más alto, este tipo de sistema ofrece beneficios claros a largo plazo, como el ahorro en consumo energético y una disminución significativa en los costos de mantenimiento. Esto permite optimizar el uso del presupuesto y asegurar una inversión más sostenible y duradera.

Además, optar por luminarias LED en lugar de tecnologías tradicionales, como las lámparas de sodio, resulta ventajoso debido a su mayor vida útil. Esto reduce la necesidad de reemplazos frecuentes, disminuye las interrupciones del servicio y facilita las labores de mantenimiento. En conjunto, estas ventajas

no solo mejoran la continuidad del alumbrado, sino que también aportan a la eficiencia operativa y a la sostenibilidad ambiental del sistema

- En áreas de la calle Elia Liut donde se presentan niveles excesivos de luz, como en sectores con luminarias de alta potencia o pantallas publicitarias, se sugiere ajustar la ubicación o la intensidad de las fuentes luminosas con el fin de minimizar el deslumbramiento y prevenir la contaminación lumínica. Además, se recomienda realizar el control de la vegetación que obstruye la luz, con el objetivo de asegurar una distribución uniforme del alumbrado y el cumplimiento de los requisitos normativos.
- Durante la ejecución de las mediciones de luminancia e iluminancia en proximidad a elementos como banquetas, sillas o arbustos de baja altura, se recomienda mantener una distancia prudente de entre 10 y 20 cm respecto a dichos objetos. Esta precaución permite minimizar posibles interferencias y reducir el margen de error en los resultados obtenidos, garantizando así una mayor precisión en la evaluación luminotécnica.
- Se sugiere realizar evaluaciones técnicas periódicas de los niveles de luminancia e iluminancia, a fin de verificar el cumplimiento sostenido de los parámetros establecidos por normativas como RETILAP y ARCENNR. Esto permitirá detectar a tiempo posibles deficiencias causadas por el envejecimiento de componentes o factores externos.
- Durante el diseño y planificación de nuevos sistemas futuros, se recomienda considerar cuidadosamente factores como la orientación de los paneles solares, la altura y ubicación de los postes, así como la presencia de obstáculos (vegetación, mobiliario urbano, etc.) que puedan generar sombras o afectar la distribución de la luz.
- Incorporar la percepción de los usuarios mediante encuestas o consultas ciudadanas permite evaluar el confort visual y la aceptación social del sistema. Este enfoque facilita una toma de decisiones más integral y orientada al bienestar urbano.

## Referencias

- [1] S. Salamanca-Ávila, “Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. caso de aplicación en la ciudad de bogotá,” *Revista científica*, no. 30, pp. 263–277, 2017.
- [2] K. Kumar, “A history of the solar cell, in patents,” *Intellectual Property Magazine*, 2020.
- [3] P. Barrientos Moreno, “Plan de negocios para una empresa productora y comercializadora de dispositivos para uso de energía solar,” 2004.
- [4] N. F. Gianferante, “The application of photovoltaics for buildings,” Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1999.
- [5] J. C. Cruz-Ardila, J. C. Cardona-Gómez, and D. M. Hernández-Porras, “Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa,” *Entramado*, vol. 9, no. 2, pp. 234–248, 2013.
- [6] D. Lincot, “The new paradigm of photovoltaics: From powering satellites to powering humanity,” *Comptes Rendus. Physique*, vol. 18, no. 7-8, pp. 381–390, 2017.
- [7] R. A. Marques Lameirinhas, J. P. N. Torres, and J. P. de Melo Cunha, “A photovoltaic technology review: History, fundamentals and applications,” *Energies*, vol. 15, no. 5, p. 1823, 2022.
- [8] C. Mateo Guerrero, “Cinética de la saturación en células fotovoltaicas de silicio amorfo y posterior mejora en los procesos de estabilización inicial debido a la exposición a la radiación solar,” Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València, 2017.
- [9] C. O. Buele Avila and A. M. Chazi Solis, “Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la universidad politécnica salesiana sede cuenca,” B.S. thesis, 2019.
- [10] K. J. Chindón Livisaca, “Estudio de la factibilidad del uso de energía fotovoltaica para la iluminación exterior de la universidad politécnica salesiana sede cuenca,” B.S. thesis, 2018.
- [11] G. Glenk, R. Meier, and S. Reichelstein, “Cost dynamics of clean energy technologies,” *Schmalenbach Journal of Business Research*, vol. 73, pp. 179–206, 2021.

- [12] J. P. Pesantez, A. Ríos Villacorta, and J. G. Redrován, “Integración de sistemas solares fotovoltaicos en el sector camaronero intensivo y extensivo del ecuador: Caso de estudio en la provincia de el oro,” *Revista Politécnica*, vol. 47, no. 2, pp. 7–16, 2021.
- [13] G. F. A. URIEL, “Propuesta de alumbrado con iluminación tipo led y paneles fotovoltaicos “estacionamiento de la dae (dirección de administración escolar) del ipn”,” Ph.D. dissertation, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2016.
- [14] J. R. Alcívar-Centeno, W. R. Loor-Chalar, H. J. Vargas-Quiñonez, E. F. Quiñónez-Guagua, and F. A. Gresely-Santi, “Análisis del sistema de alumbrado público de tipo sodio, mercurio y led con paneles fotovoltaicos,” *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, vol. 3, no. 1, pp. 333–341, 2023.
- [15] J. H. Labán Híjar, “Análisis, diseño y selección de alternativas de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías,” 2018.
- [16] J. A. Ajila Chuchuca and J. A. Loaiza Mora, “Análisis de la eficiencia del sistema fotovoltaico para alumbrado público, aplicado a la calle elia liut entre av españa y calle vieja,” B.S. thesis, 2024.
- [17] M. P. Castro Guaman and N. C. Posligua Murillo, “Diseño de iluminación con luminarias tipo led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas.” B.S. thesis, 2015.
- [18] R. C. Cosar, “Ntp 211: Iluminación de los centros de trabajo,” *Madrid, España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 1989.
- [19] R. O. De La Bastida Chiza, “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y análisis de estabilidad de flujo luminoso para ensayos en esfera de ulbrich del laboratorio de luminotecnia del iner,” B.S. thesis, Quito, 2018., 2018.
- [20] A. Ferrero and J. Campos Acosta, “¿ es la intensidad luminosa la magnitud más fundamental para medir la luz?” 2021.
- [21] B. Fontal, T. Suárez, M. Reyes, F. Bellandi, R. Contreras, and I. Romero, “El espectro electromagnético y sus aplicaciones,” *Escuela de la Ingeniería*, vol. 1, p. 24, 2005.
- [22] E. M. Cordero Pérez, “Estudio de indicadores de calidad de fuentes luminosas y su correlación con la discriminación y la apariecia del color de fuentes convencionales y fuentes led,” 2016.

- [23] F. BERNAL ROSSO, *Control de la Iluminación*. Ediciones Paraninfo, SA, 2019.
- [24] A. P. H. Jiménez, A. M. Mateo, I. B. Rosales *et al.*, “análisis de los niveles de iluminación para disminuir el desperdicio en las líneas productivas,” *Jocotitlan: Tecnológico Nacional de México*, 2023.
- [25] M. P. Aparicio, *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo, 2020.
- [26] O. Style, *Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo*. Oliver Style, 2012.
- [27] F. Adler, M. Berardi, M. García Pedrosa, F. Monticelli, and M. Morquecho, “Energía solar fotovoltaica,” *Instalaciones industriales*, pp. 12–19, 2013.
- [28] G. Arencibia-Carballo, “La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica,” *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 17, no. 9, pp. 1–4, 2016.
- [29] M. Martín Benito *et al.*, “Estudio de la inclinación óptima de paneles solares bifaciales monocristalinos de silicio,” 2022.
- [30] M. Simón Bordón, “Estudio y análisis de un regulador de carga de baterías,” 2010.
- [31] J. S. P. Abella, J. S. T. Reyes, J. A. H. Mora *et al.*, “Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual,” *Ingeniería*, vol. 14, no. 2, pp. 13–18, 2009.
- [32] K. R. López, “Análisis de desempeño entre una batería agm y plomo ácido,” *Instituto Politécnico Nacional, México D. F.*, p. 27, 2011.
- [33] R. Iglesias, A. Lago, A. Nogueiras, C. Martínez-Peñalver, J. Marcos, C. Quintans, M. Moure, and M. Valdés, “Modelado y simulación de una batería de ion-litio comercial multicelda,” *Seminário anual de automática, electrónica industrial e instrumentación*, vol. 19, 2012.
- [34] M. A. Abella, “Sistemas fotovoltaicos,” *SAPT Publicaciones Técnicas, SL*, 2005.
- [35] P. I. SL, “Instrucciones de uso del luxómetro pce-174,” *Santiago, Chile: PCE*, 2018.

- [36] J. F. Gutiérrez, J. M. Quintero, and L. B. Clavijo, “Calibración de cámara digital para medición de luminancia.”
- [37] C. E. Estrada Toro and H. Y. Solarte Ordóñez, “Manual de manejo, calibración y guías de laboratorio del espectrómetro compacto ref: 467-251,” 2022.
- [38] “Reglamento técnico para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red,” Norma ARCERNNR 007/23, Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023, Ecuador.
- [39] *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)*, Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Bogotá, Colombia, 2008, resolución 180540 de 2010.
- [40] C. I. de l’Eclairage (CIE), *CIE 140:2019 - Road Lighting for Motorized Traffic and Pedestrian Traffic*. Vienna, Austria: International Commission on Illumination, 2019, ISBN: 978-3-902842-52-9.
- [41] España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, “Real decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias ea-01 a ea-07,” <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-18634>, 2008, «BOE» núm. 279, de 19 de noviembre de 2008. Última modificación: 19 de octubre de 2022.
- [42] S. M. M. Luna, “Manual práctico para el diseño de la escala likert,” *Xihmai*, vol. 2, no. 4, 2007.

# Anexos

## Anexo 1. Mediciones de iluminancia y luminancia correspondiente al tramo 2.

### Iluminancia

Acera - tramo 2.1

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	52,3	24,6	7,5	5
P2	51,2	22,3	7,5	5
P3	47,4	22,3	7,5	5
P4	53,1	25,8	7,5	5
P5	52,2	23,5	7,5	5
P6	41,9	17,9	7,5	5
P7	33,8	17,3	7,5	5
P8	30,5	17,7	7,5	5
P9	19,9	12	7,5	5
P10	29,4	14,3	7,5	5
P11	42,2	23,7	7,5	5
P12	53,8	26,6	7,5	5
P13	61,1	31,9	7,5	5
PROMEDIO	43,7538	21,53077		

Ciclovia - tramo 2.1

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	40,70	21,40	7,5	5
P2	26,70	16,40	7,5	5
P3	27,00	16,30	7,5	5
P4	25,30	15,40	7,5	5
P5	22,70	15,20	7,5	5
P6	20,00	15,70	7,5	5
P7	21,50	16,70	7,5	5
P8	18,5	20,5	7,5	5
P9	31,8	22,5	7,5	5
P10	33,9	23,3	7,5	5
P11	30,9	26,2	7,5	5
PROMEDIO	27,18	19,05		

Acera - tramo 2.2

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	58,1	28,9	7,5	5
P2	57,8	26,3	7,5	5
P3	56,4	28,6	7,5	5
P4	63,3	29,5	7,5	5
P5	58,2	28,6	7,5	5
P6	46,5	26,8	7,5	5
P7	41,6	26,1	7,5	5
P8	39,7	29	7,5	5
P9	40,6	28,8	7,5	5
P10	47,3	38,4	7,5	5
P11	63,5	42,6	7,5	5
P12	77,9	46,3	7,5	5
P13	93,3	52	7,5	5
PROMEDIO	57,2462	33,22308		

Ciclovia - tramo 2.2

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	44,8	15,8	7,5	5
P2	38,7	27,8	7,5	5
P3	43,0	28,9	7,5	5
P4	39,7	30,0	7,5	5
P5	40,3	30,9	7,5	5
P6	43,2	30,3	7,5	5
P7	47,9	37,2	7,5	5
P8	53,8	43,3	7,5	5
P9	59,9	46,0	7,5	5
P10	62,3	46,8	7,5	5
P11	65,9	49,7	7,5	5
PROMEDIO	49,0	35,2		

Acera - tramo 2.3

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	68,1	38,9	7,5	5
P2	68,9	36,8	7,5	5
P3	95,1	37	7,5	5
P4	85,1	48,5	7,5	5
P5	69,2	33,6	7,5	5
P6	70,5	40,2	7,5	5
P7	59,2	33,4	7,5	5
P8	33,1	28,2	7,5	5
P9	49,4	27,8	7,5	5
P10	44	25,7	7,5	5
P11	50,8	21,5	7,5	5
P12	53,5	27,1	7,5	5
P13	56,1	27,3	7,5	5
PROMEDIO	61,7692	32,76923		

Ciclovia - tramo 2.3

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	63,0	44,9	7,5	5
P2	73,1	47,2	7,5	5
P3	58,5	43,0	7,5	5
P4	58,1	39,2	7,5	5
P5	44,0	30,2	7,5	5
P6	46,1	31,8	7,5	5
P7	43,2	28,7	7,5	5
P8	42,4	26,2	7,5	5
P9	42,6	25,1	7,5	5
P10	41,9	24,6	7,5	5
P11	37,7	24,2	7,5	5
PROMEDIO	50,1	33,2		

Acera - tramo 2.4

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	52,8	22	7,5	5
P2	56,9	24,8	7,5	5
P3	61	27,2	7,5	5
P4	55,4	24,4	7,5	5
P5	46,9	20,2	7,5	5
P6	46,4	21,7	7,5	5
P7	42,8	18,1	7,5	5
P8	38,4	18,1	7,5	5
P9	37,4	18,2	7,5	5
P10	41,8	20,7	7,5	5
P11	44,7	22,1	7,5	5
P12	52,3	24,1	7,5	5
P13	50,8	24,3	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>48,2769</b>	<b>21,99231</b>		

Ciclovía - tramo 2.4

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	43,7	24,5	7,5	5
P2	36,6	23,5	7,5	5
P3	32,8	21,5	7,5	5
P4	33,2	21,7	7,5	5
P5	34,2	19,6	7,5	5
P6	30,1	19,2	7,5	5
P7	30,1	18,3	7,5	5
P8	33,0	18,1	7,5	5
P9	39,9	20,8	7,5	5
P10	41,2	22,7	7,5	5
P11	41,5	23,5	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>36,0</b>	<b>21,2</b>		

Acera - tramo 2.5

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	60,6	28,6	7,5	5
P2	63,2	30	7,5	5
P3	60,4	29,3	7,5	5
P4	54,2	27,8	7,5	5
P5	55,9	29,7	7,5	5
P6	56,2	31,2	7,5	5
P7	53,1	28,4	7,5	5
P8	56,9	35,2	7,5	5
P9	58,3	37,2	7,5	5
P10	59,9	38	7,5	5
P11	65,5	39,5	7,5	5
P12	75,6	40,5	7,5	5
P13	74,9	42	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>61,1308</b>	<b>33,64615</b>		

Ciclovía - tramo 2.5

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	51,7	28,3	7,5	5
P2	45,1	26,4	7,5	5
P3	43,00	26,50	7,5	5
P4	49,1	31,0	7,5	5
P5	50,7	32,2	7,5	5
P6	51,9	34,8	7,5	5
P7	53,5	37,1	7,5	5
P8	57,2	39,2	7,5	5
P9	56,5	38,1	7,5	5
P10	56,4	36,6	7,5	5
P11	54,2	34,9	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>51,8</b>	<b>33,2</b>		

Acera - tramo 2.6

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	58,8	23,7	7,5	5
P2	63,6	32,8	7,5	5
P3	61,7	26,8	7,5	5
P4	72,6	37,5	7,5	5
P5	62,8	31,9	7,5	5
P6	56,5	27,9	7,5	5
P7	48,3	22,5	7,5	5
P8	38,5	19,7	7,5	5
P9	26,8	18,1	7,5	5
P10	39,8	18,2	7,5	5
P11	46,5	20,4	7,5	5
P12	57,1	21,5	7,5	5
P13	60	21,8	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>53,3077</b>	<b>24,83077</b>		

Ciclovía - tramo 2.6

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	53,0	23,5	7,5	5
P2	52,9	32,7	7,5	5
P3	48,7	27,9	7,5	5
P4	43,4	25,3	7,5	5
P5	39,8	21,4	7,5	5
P6	35,0	19,9	7,5	5
P7	33,5	18,3	7,5	5
P8	33,7	18,1	7,5	5
P9	36,0	18,7	7,5	5
P10	39,6	19,7	7,5	5
P11	41,7	20,5	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>41,6</b>	<b>22,4</b>		

Acera - tramo 2.7

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	58,3	24,1	7,5	5
P2	54	23,9	7,5	5
P3	49,7	21,2	7,5	5
P4	71,1	23,8	7,5	5
P5	54,5	22,6	7,5	5
P6	52,6	19,8	7,5	5
P7	47,1	17,7	7,5	5
P8	28,6	12,2	7,5	5
P9	37,7	19,1	7,5	5
P10	35,1	20,5	7,5	5
P11	43,1	22,4	7,5	5
P12	42,9	23,9	7,5	5
P13	48,1	28,5	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>47,9077</b>	<b>21,51538</b>		

Ciclovía - tramo 2.7

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	45,70	23,70	7,5	5
P2	41,40	22,20	7,5	5
P3	41,80	22,80	7,5	5
P4	40,90	21,80	7,5	5
P5	37,80	20,10	7,5	5
P6	34,50	19,80	7,5	5
P7	34,20	19,80	7,5	5
P8	34,9	20,6	7,5	5
P9	37,7	21,8	7,5	5
P10	41,6	24,1	7,5	5
P11	43,2	26,2	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>39,43</b>	<b>22,08</b>		

Acera - tramo 2.8

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	57,2	25,3	7,5	5
P2	65,3	34,6	7,5	5
P3	57,9	32,5	7,5	5
P4	57,6	32,4	7,5	5
P5	57,8	32,3	7,5	5
P6	55,4	36,1	7,5	5
P7	49,1	34,3	7,5	5
P8	43	29,8	7,5	5
P9	40,8	25,5	7,5	5
P10	39,4	24,1	7,5	5
P11	40,7	22,1	7,5	5
P12	43,33	22,8	7,5	5
P13	48,9	22,5	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>50,4946</b>	<b>28,79231</b>		

Ciclovía - tramo 2.8

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	51,1	30,2	7,5	5
P2	47,4	29,2	7,5	5
P3	49,7	32,9	7,5	5
P4	49,6	34,7	7,5	5
P5	45,1	33,4	7,5	5
P6	41,7	32,1	7,5	5
P7	35,7	27,4	7,5	5
P8	31,8	22,9	7,5	5
P9	34,9	21	7,5	5
P10	39,5	21,5	7,5	5
P11	33,7	19,9	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>41,836364</b>	<b>27,745455</b>		

Acera - tramo 2.9

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	53,9	34,3	7,5	5
P2	53,4	34,5	7,5	5
P3	52,5	29,6	7,5	5
P4	49,7	25,2	7,5	5
P5	48,1	23,5	7,5	5
P6	42,6	21,4	7,5	5
P7	32,8	17,5	7,5	5
P8	24,3	15,5	7,5	5
P9	22,1	14,9	7,5	5
P10	17,9	13,7	7,5	5
P11	15,3	12,3	7,5	5
P12	28,4	17,3	7,5	5
P13	57,2	27,6	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>38,3231</b>	<b>22,1</b>		

Ciclovía - tramo 2.9

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	43,6	22,2	7,5	5
P2	30,4	18,6	7,5	5
P3	30,5	18,4	7,5	5
P4	27,8	19	7,5	5
P5	26,3	18,5	7,5	5
P6	28,6	18,1	7,5	5
P7	19,2	15,3	7,5	5
P8	18,7	14,9	7,5	5
P9	17,2	13,6	7,5	5
P10	42,8	24,2	7,5	5
P11	41,7	26	7,5	5
<b>PROMEDIO</b>	<b>29,709091</b>	<b>18,981818</b>		

Acera - tramo 2.10				
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	65,8	34,5	7,5	5
P2	61,8	30,6	7,5	5
P3	68,6	31,3	7,5	5
P4	63,9	35,2	7,5	5
P5	56,6	34,1	7,5	5
P6	60,5	38,7	7,5	5
P7	74,4	42,9	7,5	5
P8	55,2	40,8	7,5	5
P9	45	35,5	7,5	5
P10	45,4	31,4	7,5	5
P11	45,6	29,5	7,5	5
P12	48,4	29,1	7,5	5
P13	52,2	29,4	7,5	5
PROMEDIO	57,1846	34,07692		

Ciclovía tramo 2.10				
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	E(lux)			
P1	46,9	28,9	7,5	5
P2	54,3	32	7,5	5
P3	58,5	38,7	7,5	5
P4	57,4	41,5	7,5	5
P5	52,3	42	7,5	5
P6	51,3	41,1	7,5	5
P7	48,8	37,1	7,5	5
P8	39	32,6	7,5	5
P9	45,2	31,5	7,5	5
P10	45	31	7,5	5
P11	45,2	27,5	7,5	5
PROMEDIO	49,445455	34,9		

## Luminancia

Acera - tramo 2.1				
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,11	1,05	1,2	0,75
P2	3,3	1,33	1,2	0,75
P3	3,53	0,98	1,2	0,75
P4	4,6	1,33	1,2	0,75
P5	4,21	1,31	1,2	0,75
P6	3,65	0,93	1,2	0,75
P7	3,13	1,15	1,2	0,75
P8	3,57	1,21	1,2	0,75
P9	2,13	0,77	1,2	0,75
P10	3,31	1,16	1,2	0,75
P11	3,13	1,3	1,2	0,75
P12	3,18	1,18	1,2	0,75
P13	3,05	2,27	1,2	0,75
PROMEDIO	3,37692	1,228462		

Ciclovía - tramo 2.1				
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	2,98	1,64	1,2	0,75
P2	2,58	1,39	1,2	0,75
P3	2,05	1,03	1,2	0,75
P4	2,67	1,1	1,2	0,75
P5	2,76	0,96	1,2	0,75
P6	1,82	1,31	1,2	0,75
P7	2,11	0,95	1,2	0,75
P8	2,31	0,97	1,2	0,75
P9	3,06	1,03	1,2	0,75
P10	2,91	1,09	1,2	0,75
P11	2,92	1,06	1,2	0,75
PROMEDIO	2,5609091	1,1390909		

Acera - tramo 2.2				
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,22	1,19	1,2	0,75
P2	3,34	1,22	1,2	0,75
P3	1,9	1,44	1,2	0,75
P4	3,44	1,61	1,2	0,75
P5	3,48	1,5	1,2	0,75
P6	2,53	1,27	1,2	0,75
P7	2,35	1,38	1,2	0,75
P8	1,86	1,64	1,2	0,75
P9	3,28	1,68	1,2	0,75
P10	3,51	2,21	1,2	0,75
P11	5,66	2,56	1,2	0,75
P12	5,87	3,36	1,2	0,75
P13	5,62	2,64	1,2	0,75
PROMEDIO	3,54308	1,823077		

Ciclovía - tramo 2.2				
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,48	1,26	1,2	0,75
P2	3,89	1,33	1,2	0,75
P3	3,02	1,15	1,2	0,75
P4	2,48	1,17	1,2	0,75
P5	3,35	1,34	1,2	0,75
P6	3,41	1,36	1,2	0,75
P7	3,84	1,53	1,2	0,75
P8	4,24	1,74	1,2	0,75
P9	4,12	1,81	1,2	0,75
P10	4,64	1,92	1,2	0,75
P11	4,39	2,11	1,2	0,75
PROMEDIO	3,7145455	1,52		

Acera - tramo 2.3

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	4,51	2,43	1,2	0,75
P2	3,86	1,76	1,2	0,75
P3	1,8	1,33	1,2	0,75
P4	5,27	2,29	1,2	0,75
P5	5,83	2,9	1,2	0,75
P6	5,02	2,43	1,2	0,75
P7	5,08	2,08	1,2	0,75
P8	3,76	1,55	1,2	0,75
P9	2,78	1,19	1,2	0,75
P10	3,19	1,32	1,2	0,75
P11	4,31	1,22	1,2	0,75
P12	4,1	1,16	1,2	0,75
P13	4,16	1,14	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,12846</b>	<b>1,753846</b>		

Ciclovía - tramo 2.3

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	4,01	1,8	1,2	0,75
P2	4,29	2,17	1,2	0,75
P3	4,17	2,08	1,2	0,75
P4	3,86	2,34	1,2	0,75
P5	3,7	2,02	1,2	0,75
P6	3,93	1,97	1,2	0,75
P7	3,7	1,84	1,2	0,75
P8	3,22	1,31	1,2	0,75
P9	3,36	1,22	1,2	0,75
P10	3,24	1,19	1,2	0,75
P11	3,18	1,3	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,6963636</b>	<b>1,7490909</b>		

Acera - tramo 2.4

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	5,05	1,17	1,2	0,75
P2	5,87	1,42	1,2	0,75
P3	1,98	0,66	1,2	0,75
P4	4,63	1,28	1,2	0,75
P5	3,72	1	1,2	0,75
P6	4,4	1,37	1,2	0,75
P7	3,19	1,14	1,2	0,75
P8	3,15	1,58	1,2	0,75
P9	3,13	1,23	1,2	0,75
P10	3,78	1,44	1,2	0,75
P11	3,92	1,49	1,2	0,75
P12	3,73	1,36	1,2	0,75
P13	4,01	1,53	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,88923</b>	<b>1,282308</b>		

Ciclovía - tramo 2.4

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,42	2,1	1,2	0,75
P2	3,33	1,7	1,2	0,75
P3	3,4	1,23	1,2	0,75
P4	3,23	2,01	1,2	0,75
P5	2,74	1,69	1,2	0,75
P6	2,52	1,12	1,2	0,75
P7	2,35	1,4	1,2	0,75
P8	2,47	0,99	1,2	0,75
P9	2,82	1,18	1,2	0,75
P10	2,66	1,08	1,2	0,75
P11	2,98	1,02	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,9018182</b>	<b>1,4109091</b>		

Acera - tramo 2.5

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	5,55	1,66	1,2	0,75
P2	5,69	2	1,2	0,75
P3	6,18	1,9	1,2	0,75
P4	5,33	1,99	1,2	0,75
P5	6,31	2,13	1,2	0,75
P6	6,79	1,35	1,2	0,75
P7	6,81	2,01	1,2	0,75
P8	6,43	2,32	1,2	0,75
P9	6,32	2,27	1,2	0,75
P10	6,26	2,22	1,2	0,75
P11	5,68	1,45	1,2	0,75
P12	4,7	1,35	1,2	0,75
P13	5,16	2,02	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>5,93923</b>	<b>1,897692</b>		

Ciclovía - tramo 2.5

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,96	2,33	1,2	0,75
P2	3,71	1,02	1,2	0,75
P3	3,5	1,01	1,2	0,75
P4	4,1	1,21	1,2	0,75
P5	3,85	1,17	1,2	0,75
P6	4,08	1,36	1,2	0,75
P7	4,14	1,31	1,2	0,75
P8	4,08	1,33	1,2	0,75
P9	4,18	1,37	1,2	0,75
P10	4,1	1,52	1,2	0,75
P11	4,18	1,62	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,9890909</b>	<b>1,3863636</b>		

Acera - tramo 2.6

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	5,55	1,12	1,2	0,75
P2	5,69	1,37	1,2	0,75
P3	6,18	1,25	1,2	0,75
P4	5,33	1,31	1,2	0,75
P5	6,31	1,49	1,2	0,75
P6	6,79	1,37	1,2	0,75
P7	6,81	1,44	1,2	0,75
P8	6,43	1,36	1,2	0,75
P9	6,32	2,2	1,2	0,75
P10	6,26	1,22	1,2	0,75
P11	5,68	1,52	1,2	0,75
P12	4,7	1,52	1,2	0,75
P13	5,16	1,34	1,2	0,75
PROMEDIO	5,93923	1,423846		

Ciclovía - tramo 2.6

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	4,15	2,04	1,2	0,75
P2	4,01	1,45	1,2	0,75
P3	3,55	1,64	1,2	0,75
P4	3,01	1,09	1,2	0,75
P5	2,49	1,15	1,2	0,75
P6	2,66	1,17	1,2	0,75
P7	3,32	1,14	1,2	0,75
P8	2,57	1,03	1,2	0,75
P9	2,18	0,97	1,2	0,75
P10	2,54	1,03	1,2	0,75
P11	2,24	0,86	1,2	0,75
PROMEDIO	2,9745455	1,2336364		

Acera - tramo 2.7

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,8	0,96	1,2	0,75
P2	3,78	1,87	1,2	0,75
P3	2,59	0,74	1,2	0,75
P4	5,22	1,45	1,2	0,75
P5	4,53	1,69	1,2	0,75
P6	4,05	1,35	1,2	0,75
P7	3,51	1,23	1,2	0,75
P8	3,42	1,17	1,2	0,75
P9	4,53	1,56	1,2	0,75
P10	4,88	1,7	1,2	0,75
P11	5,67	1,87	1,2	0,75
P12	4,5	1,57	1,2	0,75
P13	5,37	1,74	1,2	0,75
PROMEDIO	4,29615	1,453846		

Ciclovía - tramo 2.7

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,28	2,46	1,2	0,75
P2	2,35	0,88	1,2	0,75
P3	2,92	0,94	1,2	0,75
P4	2,63	0,93	1,2	0,75
P5	2,42	0,88	1,2	0,75
P6	2,7	0,83	1,2	0,75
P7	2,67	0,91	1,2	0,75
P8	2,78	0,92	1,2	0,75
P9	2,67	0,96	1,2	0,75
P10	3,36	1,12	1,2	0,75
P11	3,13	1,06	1,2	0,75
PROMEDIO	2,81	1,0809091		

Acera - tramo 2.8

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	4,57	1,3	1,2	0,75
P2	4,22	1,35	1,2	0,75
P3	5,84	1,66	1,2	0,75
P4	5,93	2,03	1,2	0,75
P5	5,67	1,68	1,2	0,75
P6	5,85	1,75	1,2	0,75
P7	4,75	1,41	1,2	0,75
P8	4,18	1,94	1,2	0,75
P9	3,9	1,49	1,2	0,75
P10	4,99	1,49	1,2	0,75
P11	5,03	1,59	1,2	0,75
P12	4,08	2,12	1,2	0,75
P13	4,4	2,13	1,2	0,75
PROMEDIO	4,87769	1,687692		

Ciclovía - tramo 2.8

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,76	1,59	1,2	0,75
P2	3,48	1,2	1,2	0,75
P3	3,95	1,25	1,2	0,75
P4	3,62	1,37	1,2	0,75
P5	3,54	1,47	1,2	0,75
P6	2,73	1,6	1,2	0,75
P7	2,55	1,32	1,2	0,75
P8	2,63	1,45	1,2	0,75
P9	2,37	1,81	1,2	0,75
P10	2,47	1,34	1,2	0,75
P11	1,98	1,83	1,2	0,75
PROMEDIO	3,0072727	1,4754545		

Acera - tramo 2.9

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	5,4	1,48	1,2	0,75
P2	5,32	1,39	1,2	0,75
P3	5,69	2,24	1,2	0,75
P4	4,25	1,97	1,2	0,75
P5	3,86	1,33	1,2	0,75
P6	3,79	1,49	1,2	0,75
P7	3,19	1,35	1,2	0,75
P8	3,3	0,64	1,2	0,75
P9	2,59	1,08	1,2	0,75
P10	2,74	1,26	1,2	0,75
P11	1,71	1,29	1,2	0,75
P12	3,51	1,77	1,2	0,75
P13	5,16	1,93	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,88538</b>	<b>1,478462</b>		

Ciclovía - tramo 2.9

Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,22	2	1,2	0,75
P2	2,15	1,48	1,2	0,75
P3	1,94	1,01	1,2	0,75
P4	2,19	1,35	1,2	0,75
P5	2,5	1,09	1,2	0,75
P6	2,25	0,82	1,2	0,75
P7	1,73	0,83	1,2	0,75
P8	1,39	0,86	1,2	0,75
P9	1,22	0,79	1,2	0,75
P10	2,79	1,19	1,2	0,75
P11	2,89	1,14	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,2063636</b>	<b>1,1418182</b>		

Acera - tramo 2.10

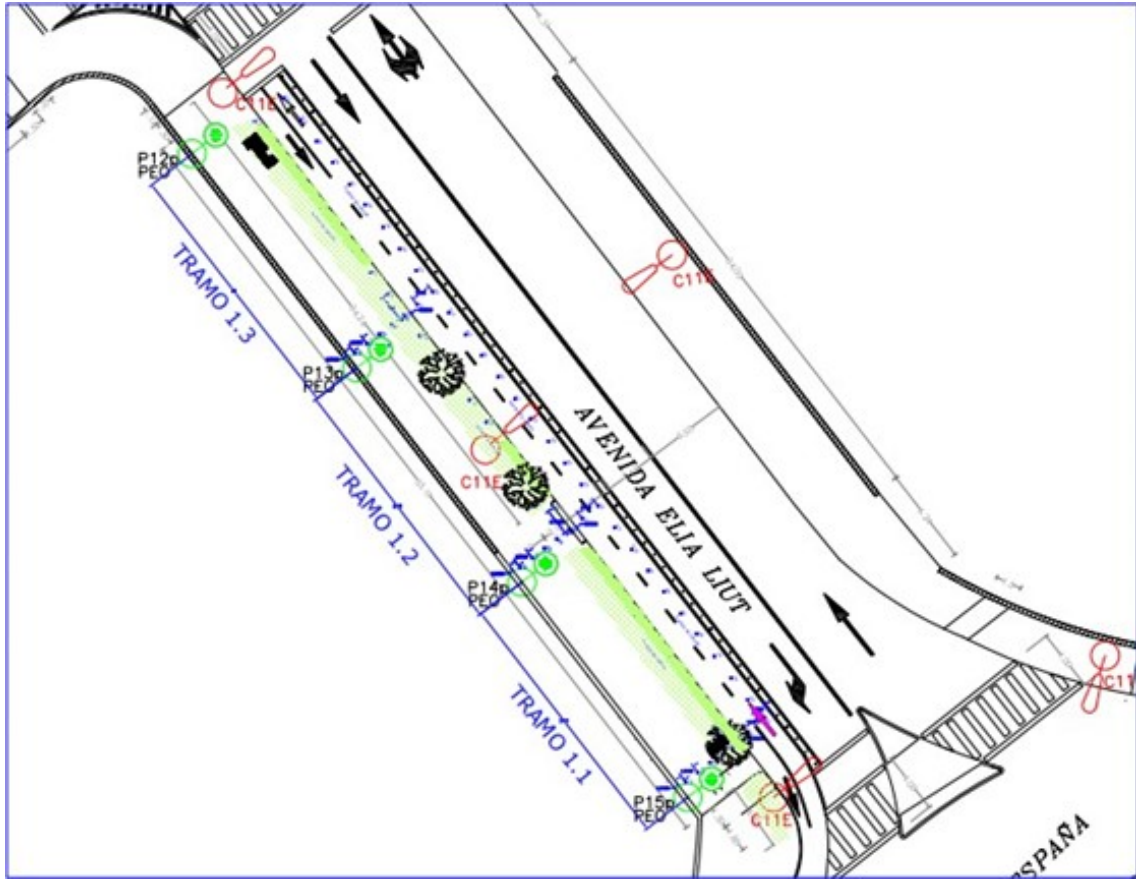
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	2,47	1,27	1,2	0,75
P2	6,06	1,54	1,2	0,75
P3	6,19	2,01	1,2	0,75
P4	5,43	1,76	1,2	0,75
P5	4,06	1,51	1,2	0,75
P6	4,64	1,7	1,2	0,75
P7	6,11	2,25	1,2	0,75
P8	5,91	2,31	1,2	0,75
P9	5,15	2,42	1,2	0,75
P10	5,22	2,22	1,2	0,75
P11	5,1	1,38	1,2	0,75
P12	3,43	2,93	1,2	0,75
P13	3,43	2,15	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,86154</b>	<b>1,957692</b>		

Ciclovía - tramo 2.10

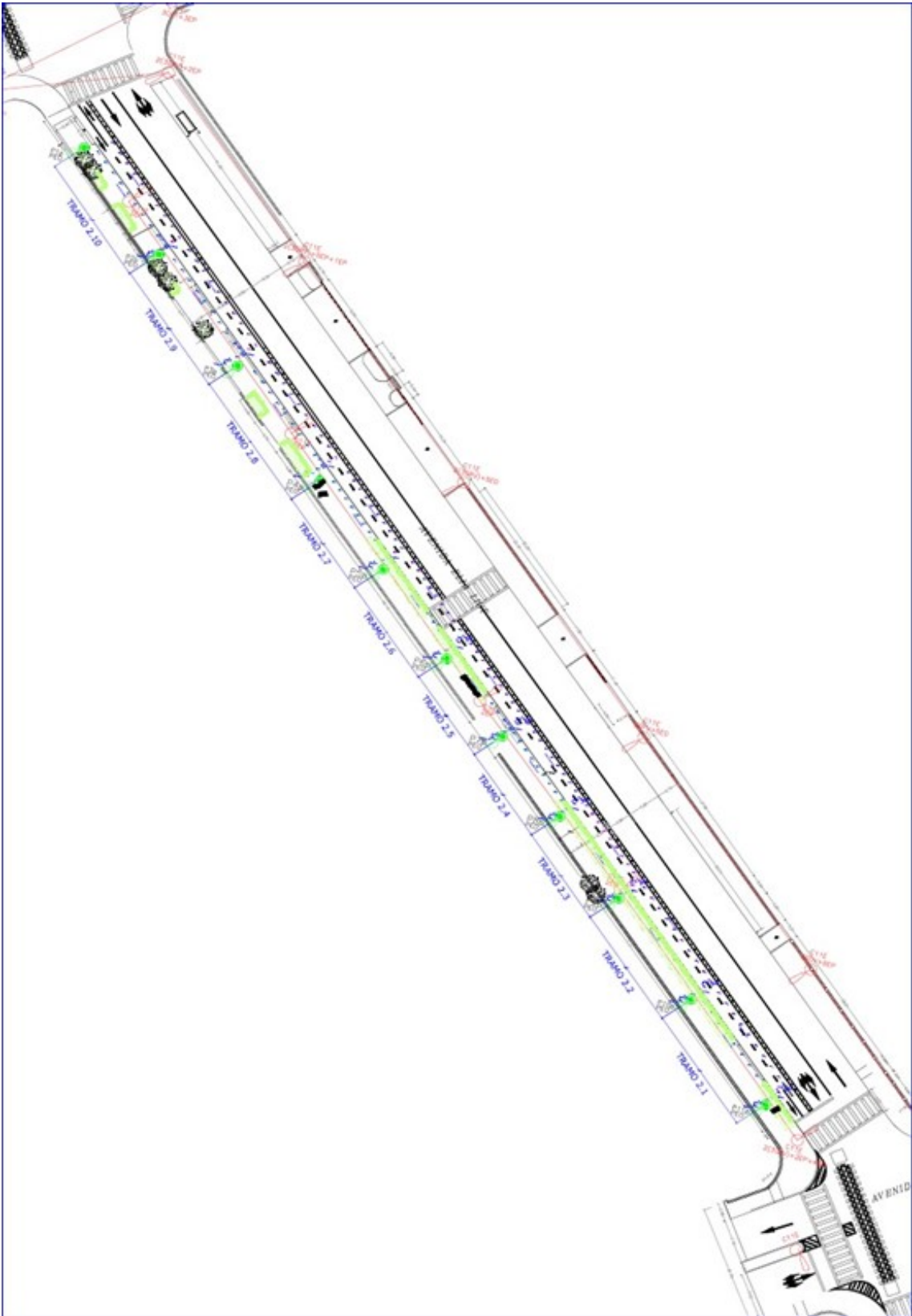
Hora:	19:30	21:30	NI	NN
Puntos	L(cd/m <sup>2</sup> )			
P1	3,52	1,73	1,2	0,75
P2	3,24	1,34	1,2	0,75
P3	3,3	1,73	1,2	0,75
P4	3,39	1,73	1,2	0,75
P5	3,74	1,94	1,2	0,75
P6	3,46	2,54	1,2	0,75
P7	2,9	2,3	1,2	0,75
P8	3,07	2,63	1,2	0,75
P9	3	1,7	1,2	0,75
P10	2,6	2,36	1,2	0,75
P11	2,53	1,83	1,2	0,75
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,1590909</b>	<b>1,9845455</b>		

## Anexo 2. Ubicación de puntos de cálculo

### Tramo 1



Tramo 2



### Anexo 3. Ficha técnica LED fotovoltaico

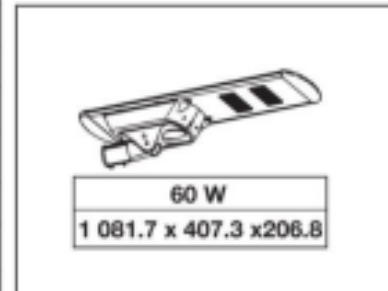
## SOLAR STREETLIGHT

60 W | 11 100 lm | 5 000 K

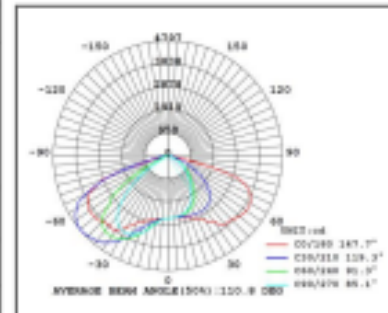
#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Potencia Nominal	60 W
Equivalencia	250 W AM
Tensión Nominal	18 V DC
Flujo Luminoso	11 100 lm
Eficiencia	185 lm/W
Tipo de Curva	T2M
Temperatura de Color	5 000 K
Índice de Reproducción de Color (IRC)	>70
Ángulo de Apertura	150 x75°
Distorsión de Armónicas	N/A
Atenuable	Con carga de 12hr de trabajo: 3h 100%, 2h 50%, 5 h 20% y 2h 50% Con carga de 6hr de trabajo: 3h 100%, 2h 50%, 1 h 20% y luego se apagará
Supresor de Picos	N/A
Índice de Protección	IP66
Protección contra Impactos Mecánicos	IK08
Temperatura de Operación	-20-... +50°C
Temperatura de Almacenaje	-20-... +60°C
Vida Útil	60 000 h (L70)
Garantía	5 años
Driver (incluido)	Controlador multifunción: para panel solar, batería y módulos LED 12V
Tipo de Batería/ Vida de la Batería	Fosfato de Litio y Hierro
Capacidad de la Batería	18 Ah 42 V DC
Ciclos de la Batería	>2 000 ciclos
Autonomía	12H+2.05H
Potencia del Panel Fotovoltaico	Monocristalino 80 W
Material	Aluminio
Prueba de Niebla Salina	500 horas
NOTA:	No incluye receptáculo ni fotocelda, el panel solar realiza la función en conjunto con el controlador multifunción

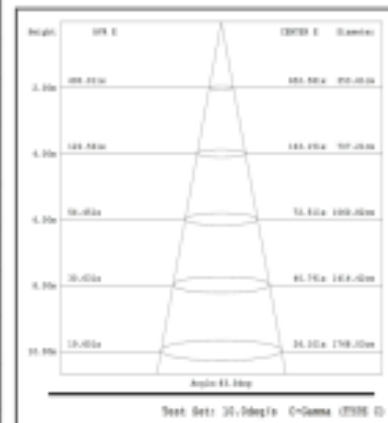
#### DISEÑO TÉCNICO (mm)



#### DIAGRAMA FOTOMÉTRICO



#### CURVA ILUMINACIÓN - DISTANCIA



## Anexo 4. Ficha técnica SODIO



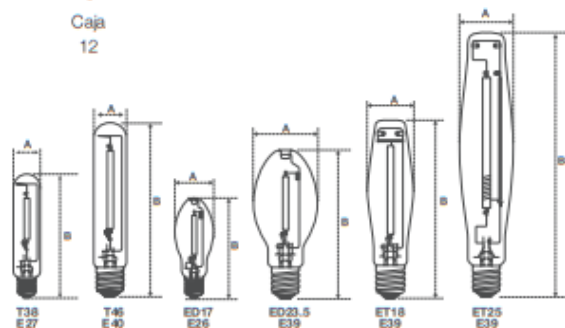
Clave	PR LU 150W ED23.5
Tipo	Vapor de Sodio de Alta Presión
Serie	LU
Bulbo	ED23.5
Base	E39
Código ILCOS / ANSI	S55
Parámetros Eléctricos	
Potencia	150W
Voltaje de Operación	55V
Corriente de Operación	3.20A
Mín. - Máx. pulso de arranque (Volts pico)	2.50kV - 3.50kV
Pulso aproximado en la base	> 5kV
Atenuable	No
Parámetros Fotométricos	
Flujo luminoso	14500 lm
Flujo luminoso Mantenido	12350 lm
Eficacia luminosa	97 lm/W
Temperatura de color	2000K
Color de luz	Luz Cálida
Índice de rendimiento de color (IRC)	22
Condiciones de Operación	
Posición de Operación	Universal
Aplicación en Luminario	Abierto / Cerrado
Re-encendido del 60% al 90%	4 minutos
Restablecimiento de lámpara caliente	3 - 5 minutos
Temperatura máxima de la base	190°C
Temperatura máxima del bulbo	400°C
Vida útil	24000 h
Datos Generales	
Acabado	Transparente
Diámetro máximo del Bulbo	76mm
Longitud máxima de la lámpara	196mm
Peso	-
Empaque individual	Caja
Piezas por empaque master	12

### Aplicaciones:

Iluminación exterior:  
Alumbrado público, fraccionamientos, anuncios publicitarios, parques industriales.

NOM  leaderlight.com.mx

Información sujeta a cambios sin previo aviso.



## Anexo 5. Características Av. Elia Liut



## Anexo 6. Radiación solar en Av. Elia Liut

Irradiación normal directa [Wh/m <sup>2</sup> ] - Perfiles horarios promedios													
Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio [Wh/m <sup>2</sup> ]
0-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-7	75	46	53	74	89	86	74	80	107	149	184	113	94
7-8	270	208	211	226	262	282	280	283	295	295	341	286	270
8-9	363	293	286	290	307	318	322	337	370	378	446	385	341
9-10	430	351	351	343	342	345	334	364	400	445	524	451	390
10-11	479	400	401	373	375	352	330	365	391	459	559	493	415
11-12	469	415	379	349	360	328	310	329	333	439	561	491	397
12-13	456	390	345	318	348	318	308	313	307	443	528	479	379
13-14	453	382	303	279	328	324	305	294	292	359	447	435	350
14-15	385	283	261	260	319	340	312	291	279	299	363	364	313
15-16	332	264	248	285	322	362	335	309	281	265	308	324	303
16-17	285	244	228	281	327	365	337	293	268	244	258	281	284
17-18	237	213	206	227	209	225	274	242	203	139	144	207	211
18-19	35	37	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
19-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Suma</b>	<b>4269</b>	<b>3527</b>	<b>3295</b>	<b>3305</b>	<b>3587</b>	<b>3644</b>	<b>3522</b>	<b>3501</b>	<b>3526</b>	<b>3915</b>	<b>4663</b>	<b>4308</b>	<b>3755</b>

# GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

## Cuenca

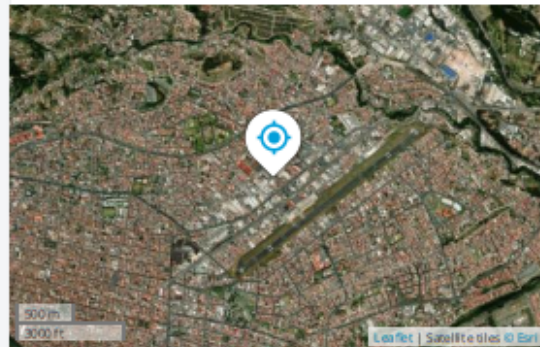
-02.887615°, -078.988538°  
 Avenida Elia Llut, Cuenca, Azuay, Ecuador  
 Time zone: UTC-05, America/Guayaquil [ECT]

Report generated: 12 Aug 2025

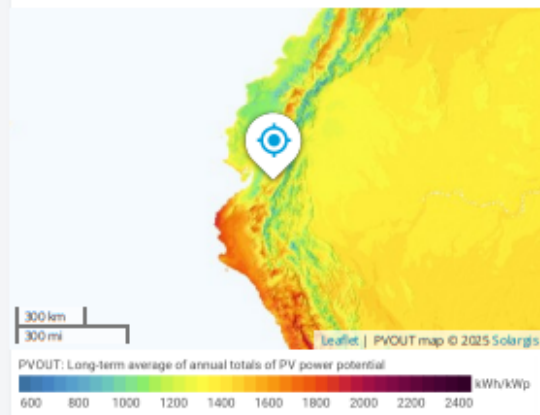
### SITE INFO

Map data		Per year
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	<b>1497.2</b> kWh/kWp
Global horizontal irradiation	GHI	<b>1812.4</b> kWh/m <sup>2</sup>
Diffuse horizontal irradiation	DIF	<b>873.1</b> kWh/m <sup>2</sup>
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI <sub>opta</sub>	<b>1814.4</b> kWh/m <sup>2</sup>
Optimum tilt of PV modules	OPTA	<b>3 / 0</b> °
Air temperature	TEMP	<b>13.2</b> °C
Terrain elevation	ELE	<b>2527</b> m

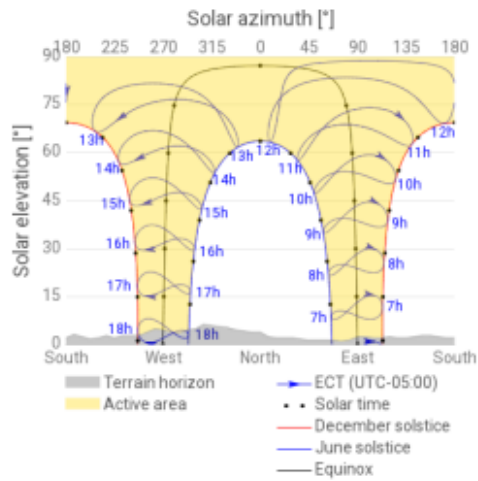
### Map



### PVOUT map



### Horizon and sunpath



## Anexo 7. Áreas del Trabajo de Grado para ABET

Título del Trabajo:			
Restricciones múltiples (dos o más)	Accesibilidad		Estética
	Códigos		Construtibilidad
	Costos		Ergonomía
	Extensibilidad		Funcionalidad
	Interoperabilidad		Consideraciones Legales
	Mantenibilidad		Manufacturabilidad
	Mercadeo		Política
	Regulaciones	2.1 - 4.1	Cronogramas
	Normativas	2.2 - 2.3 - 4.1 - 3.2	Sostenibilidad
	Impacto Ambiental	1	Impacto Social
	Usabilidad		Otros:
Normas relevantes (dos o más)	ARCENNR 07/23	2.1	
	CIE 140:2019	2.3	
	RETILAP	2.2	
Elementos del proceso	Identificación de oportunidades		Generación de soluciones múltiples
	Desarrollo de requerimientos		Evaluación de soluciones
	Procesos iterativos		Consideración de riesgos
	Realizar compromisos o tratos		
Basado en trabajos anteriores	Protecciones		Iluminación
	Optimización de sistemas		Alta Tensión
	Energías alternativas		Distribución
	Máquinas eléctricas		Otros temas

A partir de la tabla ABET se desglosan los reportes correspondientes a cada uno de los criterios considerados en el proyecto.

- **Regulaciones:** En la sección 2.1 se expone la Regulación ARCENNR 007/23, cuyos lineamientos se aplican posteriormente en el análisis de resultados (sección 4.1). Dicha regulación establece los valores promedio de luminancia e iluminancia que deben cumplirse para asegurar condiciones adecuadas de alumbrado público.
- **Normativas:** En el presente proyecto se aplicaron dos normativas, expuestas en las secciones 2.2 y 2.3, que sirvieron como base para su correcto desarrollo: RETILAP y CIE. La normativa RETILAP proporciona los valores promedio de luminancia e iluminancia, los cuales se cumplen posteriormente en los resultados presentados en la sección 4.1. Por su parte, la normativa CIE establece lineamientos para la ubicación de los puntos de cálculo utilizados en las mediciones, los cuales se detallan en la sección 3.2.
- **Impacto Ambiental:** Aunque el proyecto no cuenta con una sección específica dedicada a los aspectos ambientales, estos se abordan de manera indirecta a lo largo del estudio. En la sección 1, correspondiente al marco teórico, se presentan temas relacionados con luminarias de vapor de sodio y mercurio, radiación solar en el sitio de estudio, iluminancia, luminancia y flujo luminoso, todos los cuales influyen, de manera directa o indirecta, en el impacto ambiental del sistema de alumbrado público, especialmente considerando que algunas luminarias tradicionales emiten gases tóxicos y sustancias contaminantes durante su operación y disposición final.
- **Sostenibilidad:** En la sección 4.4 se presenta un cuadro comparativo que muestra las ventajas y desventajas del sistema LED frente al convencional de sodio, incluyendo las emisiones de sustancias tóxicas de cada luminaria. El análisis evidencia que el sistema LED es más sostenible y presenta mayores beneficios económico-financieros, respaldando su viabilidad y eficiencia frente al sistema tradicional.
- **Impacto Social:** En este proyecto, la sección 3.5 presenta una encuesta dirigida a los transeúntes de la calle Elia Liut, enfocada en aspectos de seguridad, bienestar, uso de tecnologías sostenibles, confort ciudadano según la calidad de iluminación, comodidad visual y aprovechamiento de los espacios públicos, integrándose directamente al análisis del impacto social del sistema de alumbrado.

- **Iluminación:** Adicionalmente, y basado en trabajos previos, en la sección 3.4 se recopilaban datos de luminancia e iluminancia de un proyecto de titulación de 2024, con el fin de evaluar su evolución a lo largo del tiempo, verificando posibles deterioros en las luminarias, así como el correcto mantenimiento y la precisión de las mediciones realizadas.

## Anexo 8. Anexo ABET SO2

### **Anexo explicativo del SO2 en el proyecto de titulación:**

Con base en el Anexo S02 de ABET, el presente proyecto de titulación incorpora varios de los aspectos establecidos en dicho estándar. A continuación, se detallan los elementos que este proyecto abarca y aquellos que no forman parte de su alcance, con el fin de evidenciar su alineación con los criterios de evaluación propuestos por ABET.

- **Aspectos relacionados con Salud Pública y Medio Ambiente.** – El proyecto está directamente vinculado con el medio ambiente, al promover el uso de energía solar, una fuente renovable, limpia y sostenible. Esta transición hacia tecnologías menos contaminantes contribuye a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y a la mejora de la calidad del aire urbano, lo que repercute positivamente en la salud respiratoria de la población, especialmente de grupos vulnerables como niños, personas mayores o con enfermedades crónicas. Además, el uso de fuentes renovables apoya los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático y preservar los ecosistemas. En cuanto a la salud pública, aunque el objetivo principal del proyecto no es directamente sanitario, existen vínculos indirectos relevantes. Un entorno urbano bien iluminado contribuye al bienestar psicológico de los ciudadanos, al reducir la percepción de inseguridad y promover entornos más confortables para la actividad nocturna. Adicionalmente, una adecuada iluminación puede fomentar estilos de vida más activos, al incentivar caminatas o actividades recreativas en horarios vespertinos o nocturnos, lo que repercute en la salud cardiovascular y mental.
- **Aspectos relacionados con Seguridad de Personas y Bienes.** - El proyecto sí aborda de forma directa aspectos relacionados con la seguridad de personas y bienes. Un sistema de alumbrado público fotovoltaico eficiente mejora de manera significativa la visibilidad en la vía durante las horas nocturnas. Esto reduce el riesgo de accidentes de tránsito, tropiezos o caídas de peatones, especialmente en zonas residenciales, comerciales o de alta circulación. Así mismo, una adecuada iluminación actúa como un disuasivo natural frente a actos delictivos como robos, agresiones o vandalismo, al aumentar la percepción de vigilancia y control del espacio público. Desde la perspectiva de protección de bienes, el alumbrado también contribuye a reducir los daños o pérdidas

materiales causados por delitos o accidentes, tanto en propiedades privadas como en infraestructura pública. Esta mejora en las condiciones de seguridad urbana tiene un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes y en la valorización del entorno.

- **Factores Globales.** - El estudio sí guarda relación con varios factores globales, especialmente en lo referente a las políticas energéticas y los compromisos internacionales en materia de sostenibilidad y transición energética. En primer lugar, el proyecto se alinea con las políticas energéticas mundiales que promueven el uso de energías renovables como mecanismo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, combatir el cambio climático y avanzar hacia un modelo energético más limpio y sostenible. Estas metas están respaldadas por acuerdos internacionales como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, particularmente el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles). A nivel nacional, el proyecto está respaldado por el Plan Maestro de Electrificación y la Agenda Nacional de Energía, que impulsan el uso de tecnologías limpias y eficientes en el sector eléctrico. Aunque el alcance del estudio es local, su enfoque y objetivos están en consonancia con las estrategias globales y nacionales de transición energética y desarrollo sostenible.
- **Factores Culturales.** – El proyecto “Evaluación técnico-económica del alumbrado público fotovoltaico en la calle Elia Liut de la ciudad de Cuenca” no aborda directamente factores culturales, ya que su enfoque principal es técnico y económico, centrado en la viabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos para alumbrado público. Los factores culturales suelen relacionarse con aspectos como costumbres, tradiciones, valores comunitarios, identidad local o prácticas sociales asociadas al uso del espacio público. En este caso, el proyecto no considera específicamente la influencia de estos elementos en el diseño, implementación o aceptación del sistema de iluminación.
- **Factores Sociales.** – Este proyecto si aborda factores sociales relevantes, ya que un sistema de alumbrado público fotovoltaico eficiente y sostenible contribuye directamente al desarrollo social de la comunidad. Una mejor iluminación incrementa la seguridad ciudadana, fomenta la movilidad peatonal en horarios nocturnos y mejora la percepción del espacio público, incentivando la interacción social y el uso de áreas urbanas. Además, al tratarse de una tecnología renovable, el proyecto puede generar conciencia educativa y formativa en torno a la sostenibilidad y el uso responsable de los recursos energéticos, lo cual im-

pacta positivamente en la cultura ambiental de la población. Estos aspectos, en conjunto, apoyan el desarrollo integral de la comunidad y se alinean con las necesidades de una población en crecimiento y transformación.

- **Fatores Ambientales.** - El estudio sí aborda los factores ambientales, ya que propone el uso de energía solar como alternativa sostenible frente a fuentes convencionales de electricidad. La implementación de un sistema de alumbrado público fotovoltaico contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), disminuye la huella de carbono y promueve el uso de energías limpias y renovables. Además, al aprovechar un recurso natural abundante como la radiación solar, se reduce la dependencia de combustibles fósiles, mitigando así el impacto ambiental negativo asociado a la generación de energía convencional. Por lo tanto, el análisis técnico-económico planteado en la tesis también considera los beneficios ecológicos de la propuesta, alineándose con principios de sostenibilidad y preservación del medio ambiente.
- **Factores Económicos.** - El estudio aborda de manera directa los factores económicos, ya que uno de sus objetivos principales es analizar la viabilidad financiera de implementar un sistema de alumbrado público basado en energía solar. La evaluación incluye el análisis de costos de inversión inicial, operación y mantenimiento, así como la comparación con los sistemas de alumbrado convencional. Asimismo, se consideran aspectos como el ahorro energético a largo plazo y la vida útil de los equipos fotovoltaicos. Este enfoque permite determinar si la propuesta representa una solución económicamente sostenible para el gobierno local o entidades responsables del servicio, optimizando el uso de recursos públicos y fomentando decisiones basadas en criterios de eficiencia económica.