



POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

RPC-SO-30-No.508-2019

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

TEMA:

PLAN DE OPTIMIZACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO APLICADO
A UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

AUTOR:

EDWIN DAVID GONZÁLEZ URGILÉS
JOHN DANIEL MORA LEMA

DIRECTOR:

JORGE LUIS ROJAS ESPINOZA

CUENCA - ECUADOR

2023

Autores:



Edwin David González Urgilés

Ingeniero Eléctrico.

Candidato a Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.

egonzalezu1@est.ups.edu.ec

dglezu@hotmail.com



John Daniel Mora Lema

Ingeniero Eléctrico.

Candidato a Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca.

jmoral1@est.ups.edu.ec

johnmora200@gmail.com

Dirigido por:



Jorge Luis Rojas Espinoza

Ingeniero Eléctrico.

Maestro en Administración de la Energía y sus Fuentes Renovables.

jrojase@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2023 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

EDWIN DAVID GONZÁLEZ URGILÉS

JOHN DANIEL MORA LEMA

Plan de optimización de eficiencia energética en el sistema de alumbrado público aplicado a una empresa de distribución eléctrica

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con la bendición de Dios, puesto que nos brinda vida, salud y sabiduría. También a nuestro tutor Ing. Jorge Rojas que nos guio durante todo este trabajo de titulación.

Índice general

Índice de Figuras5

Índice de Tablas7

Abstract	11
Justificación	13
Objetivos	14
Metodología	15
1. COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA16	
1.1. ILUMINACIÓN PÚBLICA GENERAL.	16
1.2. TOPOLOGÍAS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO.	16
1.3. PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO (SAP)..	17
1.3.1. Iluminancia promedio de la calzada.	17
1.3.2. Coeficiente de uniformidad de iluminancia.	18
1.3.3. Relación con los alrededores.	19
1.4. CLASES DE ALUMBRADO PÚBLICO..	20
1.4.1. Iluminancia promedio según el tipo de alumbrado.	20
1.5. RECOMENDACIONES PARA LA DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS.21	
1.6. LUMINARIAS EMPLEADAS EN EL SAP.	22
1.7. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EMPLEADO AL SAP.23	
2. METODOLOGÍA APLICADA25	
2.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES.	25

2.2. CLASES DE ALUMBRADO PÚBLICO ACOPLADO A LA RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES.	30
2.3. CÁLCULO DE LAS ÁREAS ILUMINADAS POR EL SAP DE LA EEA.	31
2.3.1. Contraste de mediciones de la calzada.	31
2.4. PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS DE ILUMINANCIA DEL SAP	32
2.4.1. Cálculo de la iluminancia promedio	32
2.4.2. Cálculo de iluminancia promedio a través del procedimiento de los nueve puntos.	32
2.4.3. Cálculo de la iluminancia promedio de luminarias con tecnología led.	34
2.4.4. Cálculo de iluminancia promedio en luminarias de sodio.	36
2.5. COTEJO DE DPEA ENTRE ILUMINACIÓN DE LED Y SODIO.	38
2.5.1. Cálculo de la Relación de Alrededores.	38
2.5.2. Coeficiente de uniformidad.	39
2.6. LUMINANCIA E ILUMINANCIA PROMEDIO SEGÚN LA CLASE DE ALUMBRADO.	39
3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DPEA.	41
3.1. CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DPEA.	41
3.1.1. Metodología e indicaciones al momento de evaluar el indicador de eficiencia energética.	41
3.1.2. Cálculo del índice de eficiencia energética DPEA.	42
3.2. DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE ALUMBRADO MÍNIMA.	42
3.3. ESTUDIO DEL INDICADOR DE LA DPEA Y ILUMINANCIA SAP DE LA CIUDAD DE AZOGUES.	43
3.4. ANÁLISIS TOTAL DE LA DPEA DE LAS ARTERIAL VIALES.	46
4. ANÁLISIS DE SIMULACIONES Y PROGRAMA EN MATLAB	49
4.1. OPTIMIZACIÓN DEL SAPG	49
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL SAP PREVIO A SU SIMULACIÓN.	50
4.3. ANÁLISIS DE LA VÍA A SIMULAR.	54
4.4. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA REGULACIÓN NRO. 006/20 ARCERNR.	55
4.5. EMPLAZAMIENTO DE LUMINARIAS EN LA VÍA	55
4.5.1. Parámetros del tipo de camino peatonal.	55
4.5.2. Parámetros del parter o zona verde.	55
4.5.3. Selección del tipo de luminaria a utilizar.	56

4.5.4. Parámetros de la ubicación de la lámpara en el poste (más- til).. . . . .	.56
4.6. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS.. . . .	.56
4.7. SIMULACIÓN EN EL PROGRAMA DIALUX.. . . .	.56
4.7.1. Resultados de la simulación en el programa Dialux. . . . .	.57
4.8. DESARROLLO DEL PROGRAMA EN MATLAB.. . . .	.66
4.8.1. Cálculo computarizado de iluminancia.. . . . .	.66
4.8.2. Ubicación de los puntos para su cálculo.. . . . .	.67
4.8.3. Iluminancia promedio.. . . . .	.68
4.8.4. Relación de luminancia.. . . . .	.68
4.8.5. Clasificación de las áreas de las carreteras en estado esta- cionario.. . . . .	.69
4.8.6. Parámetros de las tablas P. . . . .	.70
4.8.7. Ubicación del observador para los puntos de cálculo.. . . . .	.74
4.8.8. Equivalencia a lo largo de la luminancia (UL).. . . . .	.74
4.8.9. Cantidad de lámparas para su diseño.. . . . .	.75
4.8.10. Características para la óptima calidad de luminancia.. . . . .	.75
4.9. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROGRAMA.. . . . .	.76
4.9.1. Resultados obtenidos de la optimización realizada en Matlab. . . . . .	.86
Conclusiones	90
Recomendaciones	93
Bibliografías	95

Índice de Figuras

1.1. Flujo luminoso sobre la superficie de una calzada, (Fuente:[Autores.]	18
1.2. Método de cálculo de la iluminancia promedio para la SR, (Fuente:[Autores.]	19
2.1. Red vial de Azogues, GAD Azogues, 2019.	29
2.2. Método de cálculo de la iluminancia promedio, Fuente[Autor.]	33
2.3. Disposición de los 9 puntos en función de la topología de vía, Fuente[Autor.]	33
2.4. Vano de estudio Geoportal, Fuente[Autores.]	35
2.5. Método de los 9 puntos aplicado a la vía de análisis, Fuente[Autores.]	35
2.6. Vano de estudio Geoportal, Fuente[Autores.]	37
4.1. Fotometría de la lámpara de sodio modelo FLA461 [S60] IP66: HST-X4-250W/E40, Fuente[Autores.]	53
4.2. Fotometría de la lámpara LED 150 W marca OPPLÉ, Fuente[Autores.]	54
4.3. Simulación de la Av. Che Guevara, Fuente[Autores.]	57
4.4. Características de la Av. Che Guevara, Fuente[Autores.]	58
4.5. Características de la lámpara, Fuente[Autores.]	59
4.6. Características de montaje de la luminaria.	60
4.7. Resultados de la luminaria de Sodio de 250W, Fuente[Autores.]	61
4.8. Características de la luminaria LED 150W, Fuente[Autores.]	62
4.9. Resultados de la simulación con lámparas LED 150W, (Fuente:[Autores.]	63
4.10. Superficie para su cálculo, Fuente[Autores.]	67
4.11. Variables a ser consideradas para el cálculo de la luminancia, Fuente[Autores.]	69
4.12. Tabla P para el área estandarizada R1, (RETILAP, Bogota, 2010.)	71
4.13. Tabla P para el área estandarizada R2, (RETILAP, Bogota, 2010.)	72

4.14. Tabla P para el área estandarizada R3, (RETILAP, Bogota, 2010.) . .	73
4.15. Tabla P para el área estandarizada R4, (RETILAP, Bogota, 2010.) . .	74
4.16. Lámparas que contribuyen a la luminancia para su cálculo en un punto definido,, (Fuente:[Autores.])	75
4.17. Diagrama polar de la luminaria LED, Fuente, (Fuente:[Autores.]) .	77
4.18. Interfaz gráfica del programa desarrollado, para poder ingresar los parámetros necesarios para su análisis, (Fuente:[Autores.]) . .	78
4.19. Interfaz gráfica del programa desarrollado,, (Fuente:[Autores.]) .	79
4.20. Vector de intensidad luminosa,, (Fuente:[Autores.])	80
4.21. Vector de intensidad luminosa, , (Fuente:[Autores.])	80
4.22. Vector de intensidad luminosa,, (Fuente:[Autores.])	81
4.23. Vector de intensidad luminosa,, (Fuente:[Autores.])	81
4.24. Luminancia y disposición de luminarias, , (Fuente:[Autores.]) . .	82
4.25. Resultados obtenidos en Matlab con lámpara de Sodio, (Fuente:[Autores.])	83
4.26. Resultados obtenidos en Matlab con lámpara LED, , (Fuente:[Autores.])	83

Índice de Tablas

1.1. Clases de alumbrado según la vía, (ARCERNNR, R. N. 006/20). . .	20
1.2. Rango de valores de iluminancia mínima requeridas según su tipo de alumbrado, (ARCERNNR, R. N. 006/20).	20
1.3. Distribución de luminarias según la clase de alumbrado, (RETILAP, Bogota, 2010.)	21
1.4. Clasificación de luminarias de acuerdo con la distribución del flujo luminoso, (Fuente [Autores.])	22
1.5. Comparación luminarias LED vs Sodio, (Hijar, L., Hermes, J. (2018).)	23
1.6. Valores de la DPEA según su tipo de alumbrado, (RETILAP, Bogota, 2010.)	24
2.1. Vías que pertenecen al viario secundario, (Fuente:[Autores.]) . . .	26
2.2. Vías que pertenecen al grupo colectoras de la urbe de Azogues, (Fuente:[Autores.])	27
2.3. Vías que pertenecen al grupo locales de la urbe de Azogues, (Fuente:[Autores.])	28
2.4. Clases de alumbrado público para cada arteria vial, (Fuente:[Autores.])	30
2.5. Número de vías que pertenecen según su arteria vial y tipo alumbrado,, (Fuente:[Autores.])	30
2.6. Contraste de mediciones obtenidas en campo vs Geoportal, (Fuente:[Autores.])	31
2.7. Datos para el cálculo de iluminancia promedio,Fuente[Autor.] . .	34
2.8. Datos medidos de la vía, con topología unilateral,Fuente[Autor.] .	36
2.9. Valores de las mediciones, (Fuente:[Autores.])	36
2.10. Datos para el cálculo de iluminancia promedio, (Fuente:[Autores.])	36
2.11. Datos medidos de la vía, (Fuente:[Autores.])	37
2.12. Valores de las mediciones, (Fuente:[Autores.])	37
2.13. Cotejo de resultados obtenidos por cada luminaria, (Fuente:[Autores.])	38

2.14. Relación de alrededores obtenida vs la regulación.	39
2.15. Parámetro del coeficiente de uniformidad obtenida, (Fuente:[Autores.])	39
2.16. Iluminancia y luminancia promedio por el tipo de alumbrado,, (Fuente:[Autores.])	40
2.17. Iluminancia promedio obtenida vs la requerida, (Fuente:[Autores.])	40
3.1. Coeficiente de eficiencia energética de la C. Ayacucho, (Fuente:[Autores.])	42
3.2. Datos mínimos del indicador de la DPEA, , (Fuente:[Autores.]) . .	43
3.3. Análisis de la DPEA calculada vs la requerida por el reglamento, (Fuente:[Autores.])	43
3.4. Vías de la arteria vial secundarias que no cumplen con la DPEA. .	44
3.5. Vías de la arteria vial colectora que no cumplen con la DPEA, (Fuen- te:[Autores.])	45
3.6. Vías de la arteria vial local que no cumplen con la DPEA, (Fuen- te:[Autores.])	46
3.7. Vías que no cumplen con la DPEA por falta de iluminación, (Fuen- te:[Autores.])	47
3.8. Vías colectoras que no cumplen con la DPEA por estar sobre ilu- minación, (Fuente:[Autores.])	47
3.9. Vías locales que no cumplen con la DPEA por estar sobre ilumi- nación, (Fuente:[Autores.])	48
4.1. Descripción y características de las avenidas y vías a simular que no cumplen con los parámetros de calidad, (Fuente:[Autores.] . .	51
4.2. Características de la lámpara de sodio modelo FLA461 [S60] IP66: HST-X4-250W/E40, (Fuente:[Autores.])	52
4.3. Características de la lámpara marca OPPL LED 150 W, (Fuen- te:[Autores.])	53
4.4. Resumen de resultados obtenidos en sus respectivas simulacio- nes, (Fuente:[Autores.])	64
4.5. Resumen de resultados obtenidos en sus respectivas simulacio- nes,, (Fuente:[Autores.])	65
4.6. Lista de áreas según el factor O1, (Fuente:[Autores.])	70
4.7. Comparación de resultados simulados y del programa desarrolla- do en Matlab de la lámpara de Sodio, NO cumplen, (Fuente:[Autores.])	84
4.8. Comparación de resultados simulados y del programa desarrolla- do Matlab de la lámpara LED, SI cumplen, (Fuente:[Autores.]) . .	84

4.9. Análisis de resultados comparando el estado actual (Luminaria Sodio) con la optimización (Luminaria LED) realizada con el programa en Matlab.	87
4.10. Análisis de resultados comparando el estado actual (Luminaria Sodio) con la optimización (Luminaria LED) realizada con el programa en Matlab.	88
4.11. Análisis de resultados comparando el estado actual (Luminaria Sodio) con la optimización (Luminaria LED) realizada con el programa en Matlab.	89

Resumen

El sistema de alumbrado público es un servicio que ayuda al desarrollo de la sociedad como en actividades nocturnas, aportando seguridad, visibilidad vehicular entre otras, este servicio es prestado por las empresas eléctricas distribuidoras, mismo que debe ser un servicio eficiente y de calidad, por lo que, debe cumplir ciertas regulaciones. Con base a este antecedente, en este trabajo se realiza el análisis del indicador de eficiencia energética para el sistema de alumbrado público general, para la empresa eléctrica Azogues, en donde calculamos los parámetros fotométricos del sistema de alumbrado público de las vías a las que presta su servicio, calculamos el indicador de eficiencia energética e identificamos la situación actual del alumbrado público de las vías lo que permitió proponer soluciones a las vías que no cumplen con los indicadores lumínicos. Además, se elaboró un programa en Matlab en el cual ingresamos las características de la vía a iluminar y el programa en función de las luminarias a ser empleadas y tipo de vía, indica la cantidad óptima de luminarias a instalar, las mismas que van a cumplir con los indicadores fotométricos, logrando de esta forma tener un sistema de alumbrado óptimo.

De las 117 vías analizadas, el 74,36 % de las vías se encuentran dentro de los rangos admisibles de los parámetros fotométricos emitidos por la regulación, así como, cumplen con el indicador de eficiencia energética lo que indica que están correctamente iluminadas, mientras que, el resto de las vías, 30 específicamente, se encuentran mal iluminadas por no cumplir los rangos de la regulación e indicador. Sobre estas vías, se realizó la optimización con base a la ecuación de la DPEA que luego de ser ejecutadas dentro del programa obtuvimos una reducción de 107 luminarias en referencia a las que se encuentran en la actualidad instaladas lo que refleja una menor inversión por parte de la empresa distribuidora, así como una reducción de 21,516 MWh/mes de consumo de energía destinada para el alumbrado público logrando de esta manera obtener una optimización en recursos económicos de 1732,87 dólares al mes.

Abstract

The public lighting system is a service that helps the development of society as in night activities, providing security, vehicular visibility among others, this service is provided by the electrical distribution companies, which must be an efficient and quality service, for Therefore, it must comply with certain regulations. Based on this background, this paper analyzes the energy efficiency indicator for the general public lighting system, for the Azogues electric company, where we calculate the photometric parameters of the public lighting system of the roads to which it provides your service, we calculated the energy efficiency indicator and identified the current situation of street lighting, which made it possible to propose solutions to roads that do not comply with light indicators. In addition, a program was developed in Matlab in which we entered the characteristics of the road to be illuminated and the program, depending on the luminaires to be used and the type of road, indicates the optimal number of luminaires to install, the same ones that will comply with the photometric indicators, thus achieving an optimal lighting system.

Of the 117 roads analyzed, 74,36 % of the roads are within the admissible ranges of the photometric parameters issued by the regulation, as well as, they comply with the energy efficiency indicator, which indicates that they are correctly lit, while that the rest of the roads, 30 specifically, are poorly lit because they do not comply with the regulation and indicator ranges. On these roads, the optimization was carried out based on the DPEA equation that after being executed within the program we obtained a reduction of 107 luminaires in reference to those that are currently installed, which reflects a lower investment on the part of the distribution company, as well as a reduction of 21,516 MWh/month of energy consumption destined for public lighting, thus achieving an optimization in economic resources of \$ 1,732.87 per month.

GLOSARIO

SAPG: Sistema de Alumbrado Público General.

SAP: Sistema de Alumbrado Público.

ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

RETILAP:Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

EEA: Empresa Eléctrica Azogues.

DPEA: Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado.

SR: Relación de Alrededores.

EED: Empresas Eléctricas Distribuidoras

Justificación

Mediante el desarrollo de este proyecto, se pretende establecer una eficiencia energética en el alumbrado público aplicada en cualquier tipo de empresa eléctrica distribuidora, determinando los principales beneficios para los usuarios del servicio de electricidad, como para las empresas de distribución, estudiantes e investigadores. Se deben desarrollar en el Ecuador estudios de eficiencia energética en el campo eléctrico, en donde se busque y analice tecnologías nuevas y más eficientes.

La regulación 006/20 emitida por la ARCERNNR 006/20 nos brindan parámetros fotométricos que deben cumplir las empresas eléctricas distribuidoras en la prestación del servicio de alumbrado público, con base a la regulación se procederá a analizar el estado actual del SAP de una empresa eléctrica distribuidora donde aplicaremos mediciones y cálculos para verificar el cumplimiento de esta y adaptar un indicador de eficiencia energética para obtener SAP eficientes y de calidad.

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de optimización en la eficiencia energética del sistema de alumbrado público para empresas eléctricas de distribución, considerando aspectos técnicos y económicos, así como los parámetros fotométricos y clases de alumbrado por vías.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Calcular el valor actual del indicador de eficiencia energética en el alumbrado público de una empresa eléctrica distribuidora y proponer alternativas de mejora para optimizar el indicador de eficiencia energética de alumbrado público.
- Rediseñar y simular los parámetros fotométricos luego de optimizar el indicador de eficiencia energética, mediante software DIALux evo.
- Elaborar un programa en MATLAB para la optimización del sistema de alumbrado público.

Metodología

Se optó por la empresa eléctrica Azogues para realizar el caso de estudio, donde se analizaron los parámetros fotométricos del SAP en base a la regulación 006/20 emitida por la ARCERNNR y para el indicador de eficiencia energética aplicamos el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público donde calculamos la potencia total instalada destinada para el alumbrado respecto al área total a iluminar, para llevarlo a cabo se levantó la información del estado actual de la red de distribución de alumbrado público de la EEA.

Se propusieron alternativas como, el cambio de tecnología, disposición, cambio de potencia de las luminarias para mejorar el indicador y los parámetros fotométricos presentes en cada una de las vías en función de los resultados obtenidos.

Se procedió a realizar el diseño y simulación de cada una de las vías intervenidas por medio del software Dialux aplicando la optimización mediante el indicador de eficiencia energética y estos resultados los contrastamos con los obtenidos en campo y en el programa desarrollando en Matlab.

Capítulo 1

COEFICIENTE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Entre los servicios que brindan las empresas eléctricas distribuidoras a la sociedad, se encuentran el sistema de alumbrado público general, que comprende las luminarias instaladas en las vías públicas dentro del área de concesión de una empresa de distribución y que debe cumplir ciertos criterios técnicos y que está regulado por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

1.1. ILUMINACIÓN PÚBLICA GENERAL

Este tipo de sistema de alumbrado es brindado por las empresas eléctricas distribuidoras, las cuales están bajo normas técnicas de construcción que deben cumplir y sirven para la iluminación de carreteras, vías públicas o requerimientos de cada ciudad.

1.2. TOPOLOGÍAS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO

Existe varios tipos de topologías en las que puede ser diseñado el sistema de alumbrado siendo las más utilizadas las siguientes:

- Unilateral: Esta topología sitúa las luminarias a un solo lado de la vía.
- Bilateral Opuesta: Esta sitúa las luminarias a ambos lados de la vía, en la misma dirección que la otra.
- Bilateral Alterna: Esta sitúa las luminarias a lo largo de la vía, una diagonal a

1.3. PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO (SAP).17

la otra.

- Central Doble: Estas colocan doble luminaria en el parter de la vía, una en diferente sentido que la otra.

Cada una de ellas presenta una ventaja respecto a la otra, la elección de una de ellas va a depender de las características de la vía y requerimientos lumínicos que se presente.

1.3. PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO (SAP).

A continuación, se describen los parámetros fotométricos de iluminación de un SAP, con base a la regulación 006/20 de la ARCERRNR para brindar un servicio de iluminación de calidad y confiable.

1.3.1. Iluminancia promedio de la calzada

Uno de los parámetros fotométricos dentro del alumbrado público es la iluminancia promedio presente en la vía, se define la iluminancia como la afluencia de luz que emite una luminaria sobre una superficie, es decir la cantidad de flujo luminoso que recibe una calzada, figura 1.1, esta cantidad de flujo luminoso es proporcional a la cantidad de luminarias empleadas para el alumbrado.

1.3. PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO (SAP).18

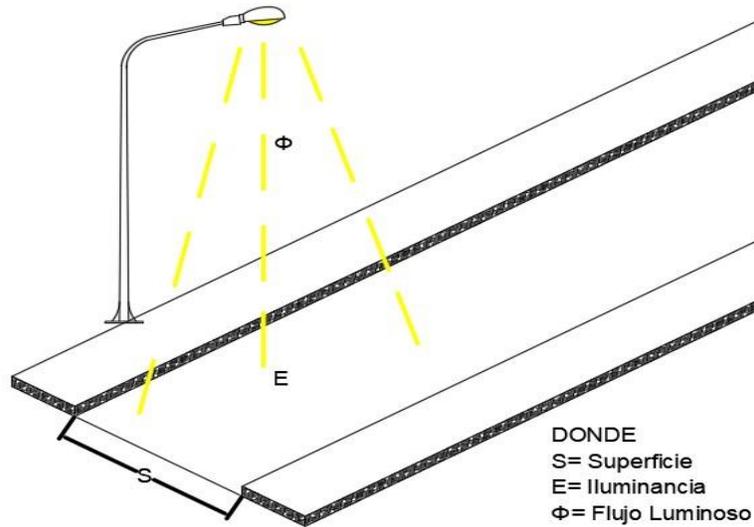


Figura 1.1: Flujo luminoso sobre la superficie de una calzada, (Fuente:[Autores.])

1.3.2. Coeficiente de uniformidad de iluminancia

Otro parámetro fotométrico de iluminancia es el coeficiente de uniformidad, el cual es responsabilidad de los SAPG cumplirlas. Este parámetro hace referencia a la iluminancia promedio y mínima en la vía, este se calcula a partir de la siguiente:

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{prom}} \quad (1.1)$$

Donde:

U₀: coeficiente de uniformidad.

E_{min}: iluminancia mín.

E_{prom}: iluminancia prom.

1.3.3. Relación con los alrededores

Uno de los parámetros fotométricos es la relación con los alrededores, esto quiere decir la iluminancia promedio a lo largo de las franjas (aceras) situadas paralelamente al bordillo y la iluminación promedio que existe desde el bordillo hasta la mitad de la calzada, las distancias desde el bordillo para la acera y del bordillo para la vía deben ser menores o iguales a 5 m para cada espacio, para el método de cálculo de iluminancia promedio se aplica el mismo que en la sección 2.5.1. figuras 1.2, esto siempre y cuando su iluminación dependa del sistema de alumbrado público general, en el caso de que los alrededores presenten iluminación propia la relación de alrededores es innecesaria, la fórmula del cálculo de la relación de alrededores viene dada por:

$$SR = \frac{E_{Vi}}{E_{Ci}} \quad (1.2)$$

Donde:

SR: Relación con los alrededores.

E_{Vi} : Iluminancia promedio de los exteriores de la vía .

E_{Ci} : Iluminancia promedio de los interiores de la vía .

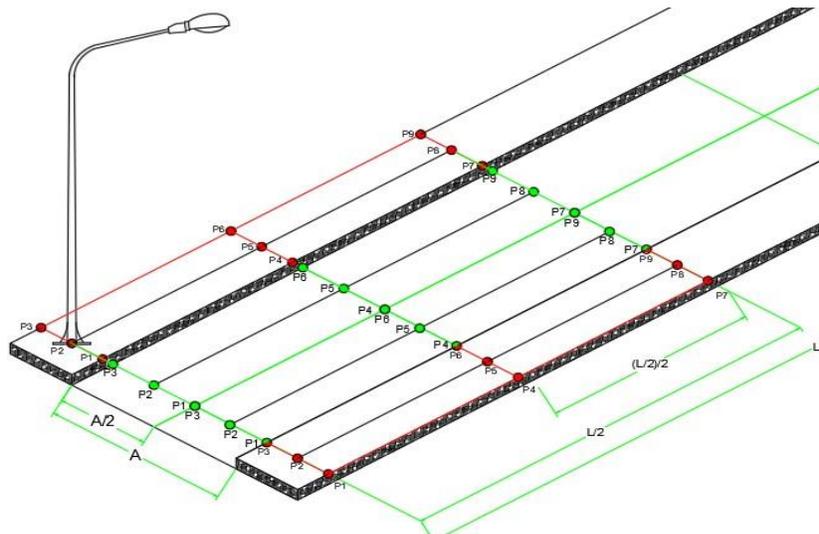


Figura 1.2: Método de cálculo de la iluminancia promedio para la SR, (Fuente:[Autores.])

1.4. CLASES DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Las clases de alumbrado público están en función de las características propias de cada vía y las exigencias visuales de cada una de ellas. Las clases de alumbrado están normadas por la regulación 006-20 de la ARCERNNR donde las clasifican de M1 a M5, las cuales deberán cumplir con los requisitos fotométricos mínimos establecidos. En la tabla 1.1, se presentan las clases de alumbrado según el uso de vía.

Tabla 1.1: Clases de alumbrado según la vía, (ARCERNNR, R. N. 006/20).

Clases de alumbrado	Descripción	Vel de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos (Veh/h)	
M1	Autopistas	Muy alta	$v > 80$	Extra prioritaria	$t > 1000$
M2	Vías de acceso	Alta	$60 < v < 80$	prioritaria	$500 < t < 1000$
M3	Vías principales	Media	$30 < v < 60$	Moderada	$250 < t < 500$
M4	Vías primarias	Baja	$v < 30$	Baja	$100 < t < 250$
M5	Vías secundarias	Extra baja	Al paso	Extra baja	$t < 100$

1.4.1. Iluminancia promedio según el tipo de alumbrado

En la tabla 1.2, se presentan los rangos de iluminancia mínimas requeridas según el tipo de alumbrado y su coeficiente de superficie.

Tabla 1.2: Rango de valores de iluminancia mínima requeridas según su tipo de alumbrado, (ARCERNNR, R. N. 006/20).

Clase Alumbrado	Valor de iluminancia a mantener en función de su superficie			Homogeneidad de la Ilum. (%) I_{min}/I_{pro}
	R1	R2 - R3	R4	
M3	12	17	10	34 %
M4	8	12	10	25 %
M5	6	9	8	18 %

1.5. RECOMENDACIONES PARA LA DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS

En la tabla 1.3 se describen las recomendaciones para la disposición de luminarias según su tipo de alumbrado para obtener una mayor eficiencia lumínica. (Energía, 2010).

Tabla 1.3: Distribución de luminarias según la clase de alumbrado, (RETILAP, Bogota, 2010.)

Tipos de alumbrado	Altitud	S/H	Distribución de las luminarias	
			Vías	Topología
M1	12 - 14	3,5 - 4	2 vías de tránsito	Unilateral
M2	10 - 12	3,5 - 4	2 vías de tránsito	Unilateral
M3	8,5 - 10	3,5 - 4	1 vía de tránsito	Unilateral
M4	7 - 9	3,5 - 4	1 vía de tránsito	Unilateral
M5	6	3,5 - 4	Según las características de la vía	

En la tabla 1.4, se describe los tipos de luminarias y la distribución del flujo luminoso, se debe tener presente esta tabla al realizar las simulación. El tipo de iluminación directa es la que se escogió para las simulaciones, puesto que posee una alta eficiencia energética a comparación de los otros tipos de iluminación

Tabla 1.4: Clasificación de luminarias de acuerdo con la distribución del flujo luminoso, (Fuente [Autores.]

Tipo de luminaria	Característica
Directa	-Posee una alta eficiencia energética. una distribución concentrada con uniformidad y balance de claridad para el visualizador.
Semi Directa	-Es similar al tipo de luminaria directa, pero posee menor eficiencia energética. su iluminación reflejada reduce las sombras y por lo tanto mejora su claridad, también reduce el contraste de luminancias en el cielorraso.
Difusa	-Es la combinación entre las dos anteriormente descritas, posee buena claridad y suavizado de sombras, pero puede ocasionar deslumbramiento y es poco compensado con la componente reflejada.
Directa - Indirecta	-Es de tipo difusa, pero con relación indirecta, poco eficiente, este tipo de luminaria emite poco flujo en ángulos próximos al horizonte lo cual reduce el deslumbramiento directo.
Semi Indirecta	-Es similar a la semidirecta, pero con una menor eficiencia energética, tiene una baja componente directa reduciendo el deslumbramiento y el contraste de claridades.
Indirecta	-Elimina las sombras y el deslumbramiento directo y reflejado, requiriendo altas reluctancias de paredes y cielorraso. Tiene poca eficiencia energética.

1.6. LUMINARIAS EMPLEADAS EN EL SAP.

Para obtener un SAP eficiente de debe optar por tecnologías eficientes de alumbrado como las luminarias LED que prestan mayor luxes de iluminancia, eficiencia energética en ahorro de energía y nivel óptimo de iluminancia respecto a las luminarias de sodio. (Chej y Abdalahi, 2015).

Tabla 1.5: Comparación luminarias LED vs Sodio, (Hijar, L., Hermes, J. (2018).)

Lámpara Sodio Potencia Lum	Lámpara LED Potencia Lum
100-4800	60-5400
120-6400	80-7200
150-7200	90-8100
200-9600	120-10000
250-12000	150-13500
250-12800	180-14400

En la tabla 1.5 se realiza la comparación entre estas luminarias considerando sus potencias y su flujo luminoso (lumen) promedio.

1.7. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EMPLEADO AL SAP.

El indicador de eficiente energética a ser empleado para el caso del sistema de alumbrado público es la densidad de potencia eléctrica para alumbrado, la cual está en función de la suma de las potencias de todas las luminarias destinadas a la iluminación de la vía respecto a la superficie a iluminar, y según su iluminancia promedio requerida por cada tipo de alumbrado se da un valor de la DPEA que debe obtener cada vía.

Para obtener este indicador, primero se debe identificar el tipo de vía y los parámetros fotométricos que debe cumplir, siendo uno de ellos la iluminancia promedio para conocer si la vía cumple o no con los límites establecidos de la DPEA.

Las aceras no entran en el cálculo si no son tomadas como objeto a iluminar dentro del estudio. (Energía, 2010). El cálculo de la DPEA se realiza utilizando la ecuación 1.1, la cual es la carga total destinada para iluminar la vía y el área a iluminar total, se expresada en W/m^2 .

$$DPEA = \frac{\text{Carga destinada para alumbrado público}}{\text{Área a iluminar total}} \quad (1.3)$$

En la tabla 1.6 se indican los valores de la DPEA según su tipo de alumbrado (Energía, 2010).

Tabla 1.6: Valores de la DPEA según su tipo de alumbrado, (RETILAP, Bogota, 2010.)

Iluminancia promedio (lx)	DPEA (W/m^2), en función del ancho de la vía				
	Ancho de la vía (m)				
	menor a 6	6 - 8	8,1 - 10	10,1 - 12	12,1 - 14
3	0,29	0,26	0,23	0,19	0,17
4	0,35	0,32	0,28	0,26	0,23
5	0,37	0,35	0,33	0,30	0,28
6	0,44	0,41	0,38	0,35	0,31
7	0,53	0,49	0,45	0,42	0,37
8	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44
9	0,69	0,64	0,59	0,54	0,50
10	0,76	0,71	0,66	0,61	0,56
11	0,84	0,79	0,74	0,67	0,62
12	0,91	0,86	0,81	0,74	0,69
13	1,01	0,94	0,87	0,80	0,75
14	1,08	1,01	0,94	0,86	0,81
15	1,12	1,06	1,00	0,93	0,87
16	1,17	1,10	1,07	0,99	0,93
17	1,23	1,17	1,12	1,03	0,97
18	1,33	1,26	1,20	1,10	1,04
19	1,40	1,33	1,26	1,17	1,10
20	1,47	1,39	1,33	1,23	1,16
21	1,55	1,46	1,39	1,29	1,22
22	1,62	1,53	1,46	1,35	1,27
23	1,69	1,60	1,53	1,41	1,33
24	1,76	1,67	1,59	1,47	1,39
25	1,83	1,73	1,66	1,53	1,45
26	1,90	1,80	1,73	1,60	1,51

Capítulo 2

METODOLOGÍA APLICADA

Para determinar el indicador de eficiencia energética se identificó, evaluó y clasificó cada una de las vías que pertenecen a la red vial de la urbe de Azogues y que pertenecen al área de concesión de la EEA acoplado a cada clase de alumbrado público y realizando los cálculos de los parámetros fotométricos indispensables para la determinación del indicador de eficiencia energética.

2.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES

El GAD municipalidad de Azogues, dentro del departamento de avalúos y catastros, presenta el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Azogues, en el cual podemos encontrar la clasificación de la red vial de esta ciudad, estas se identifican y se clasifican en función de aspectos como circulación de trayectoria, acceso a la propiedad y funcionalidad; obteniendo la siguiente clasificación: (GAD Azogues, 2019.)

I). Viario arteria principal: Esta red vial trata con el mayor desplazamiento vehicular para la entrada y salida de la ciudad, posee un tráfico de alta velocidad (90 a 120 km/h) y alta circulación vehicular, con un ancho de vía que fluctúa de 20 a 34m. Su mayor uso es para circulación de transporte interprovincial, cantonal y parroquial.

II). Viario arteria secundaria: La red vial secundaria sirve como un puente que regula y canaliza el tráfico entre las arterias viales principales y la zona urbana de la ciudad, posee un tráfico de mediana velocidad (60 a 80 km/h) y

2.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES 26

media circulación vehicular, con un ancho de vía que fluctúa de 18 a 24m. Son empleadas para conectar con sectores rurales, centro de la ciudad y barrios. Dentro de este grupo se encuentran:

Tabla 2.1: Vías que pertenecen al viario secundario, (Fuente:[Autores.]

N°	Vía	N°	Vía
1	4 DE NOVIEMBRE	13	ERNERTO CHE GUEVARA
2	HERMANO MIGUEL	14	MIGUEL VINTIMILLA
3	AYACUCHO	15	24 DE MAYO
4	AV. DE LOS ALCALDES	16	LUIS GONZÁLEZ
5	A. F CORDOVA	17	GNRAL VEINTIMILLA
6	AV. DE LOS CAÑARIS	18	ORIENTE
7	16 DE ABRIL	19	RUMIÑAHUI
8	JUAN BAUTISTA CORDERO	20	HOMERO CASTANIER
9	FRANCISCO CARRASCO	21	EMILIO ABAD
10	IGNACIO NEIRA	22	MIGUEL HEREDIA
11	GONALEZ SUAREZ	23	LUIS CORDERO
12	AURELIO JARAMILLO		

III). Vías Colectoras: Esta red vial enlaza las arterias viales secundarias con las comunidades, vías locales y periferias de la ciudad, posee un tráfico medio con velocidades de 40 a 60 km/h, con un ancho de vía que fluctúa de 10 a 18m. Son empleadas para la conectividad con el sector rural y barrios. Dentro de este grupo se encuentran:

2.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES 27

Tabla 2.2: Vías que pertenecen al grupo colectoras de la urbe de Azogues, (Fuente:[Autores.])

Nº	Vía	Nº	Vía
1	ATAHUALPA	17	SAMUEL ABAD
2	BENIGNO MALO	18	MANUEL AGUIRRE
3	B. SERRANO	19	H. VAZQUEZ
4	FRAY SOLANO	20	AZUAY
5	TRES DE NOVIEMBRE	21	10 DE AGOSTO
6	ANTONIO SUCRE	22	LUIS MUÑOZ
7	AGUSTO SACOTO	23	A. VINTIMILLA
8	TENEMAZA.	24	RAFAEL M. GARCIA
9	HUMBERTO VICUÑA	25	INGAPIRCA.
10	LA RIVERA	26	SAN FRANCISCO
11	MATOVILLE.	27	MEDARDO SILVA
12	G. MORENO	28	GENERAL ENRIQUEZ
13	S. BOLIVAR	29	IMBABURA
14	J. OLMEDO	30	A. OCHOA
15	CARLOS AGUILAR	31	Av. DE LA VIRGEN
16	TRAJANO CARRASCO		

IV). Vías locales: La mayoría de esta arteria vial se localiza dentro de la ciudad, son calles céntricas con un ancho de vía que va desde 6 a 10 m, con una circulación vehicular restringida de 20 a 40 km/h.

2.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES 28

Tabla 2.3: Vías que pertenecen al grupo locales de la urbe de Azogues, (Fuente:[Autores.])

N°	Vía	N°	Nombre de la Vía	N°	Vía
1	JOSE PERALTA	22	V. CRESPO	43	J. VELEZ
2	C. DOMINGUEZ	23	C. DOMINGUEZ	44	TAMBO
3	PORTOVIEJO	24	BENJAMIN CARRION	45	A. FALCONI
4	CHIMBORAZO	25	JOSE DE LA CUADRA	46	O. GUAYASAMIN
5	NAPO	26	EUJENIO ESPEJO	47	F. ANDRADE
6	S. MARIA	27	VICENTE A ORTEGA	48	E. JARA
7	C. MACHALA	28	COTOPAXI	49	C. COJITAMBO
8	C. ESMERALDAS	29	O. IDROVO	50	C. ZHINDILING
9	C. AMBATO	30	J. MONTALVO	51	V. CRESPO
10	HUMBETO RODRIGUEZ	31	PISIAR CAPAC	52	CARLOS CUEVA
11	CAMILO PONCE	32	OLIVOS	53	L. GONZÁLEZ
12	A. SARMIENTO	33	LAURELES	54	C. GUAYAS
13	C. CASPICARA	34	A. PALOMEQUE	55	C. DUMAC
14	DEMETRIO AGUILERA	35	C. CACHA	56	E. SIGUENZA
15	SEGUNDO MENDEZ	36	LOS EUCALIPTOS	57	P. MONTERO
16	V. LOPEZ	37	ANIBAL LOPEZ	58	L. REYES
17	DAVID MOGROVEJO	38	VICTOR ROJAS	59	E. IZQUIERDO
18	PACCHA	39	EMILIO REYES	60	SONIA ANDRADE
19	SHYRIS	40	CELIO ROMERO	61	L. POZO
20	CHAPERA	41	DELEG	62	J. LEON
21	CARLOS MONTALVO	42	V. MALDONADO	63	BIBLIAN

V). Caminos vecinales: Estas arterias viales son comunes para la comunicación de un predio que se encuentra rodeada por un grupo de predios sin acceso a una vía local y este sirve de enlace, está presente entre predios colindantes, su sección va hasta los 4 metros y sus longitudes son cortas.

2.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES 29

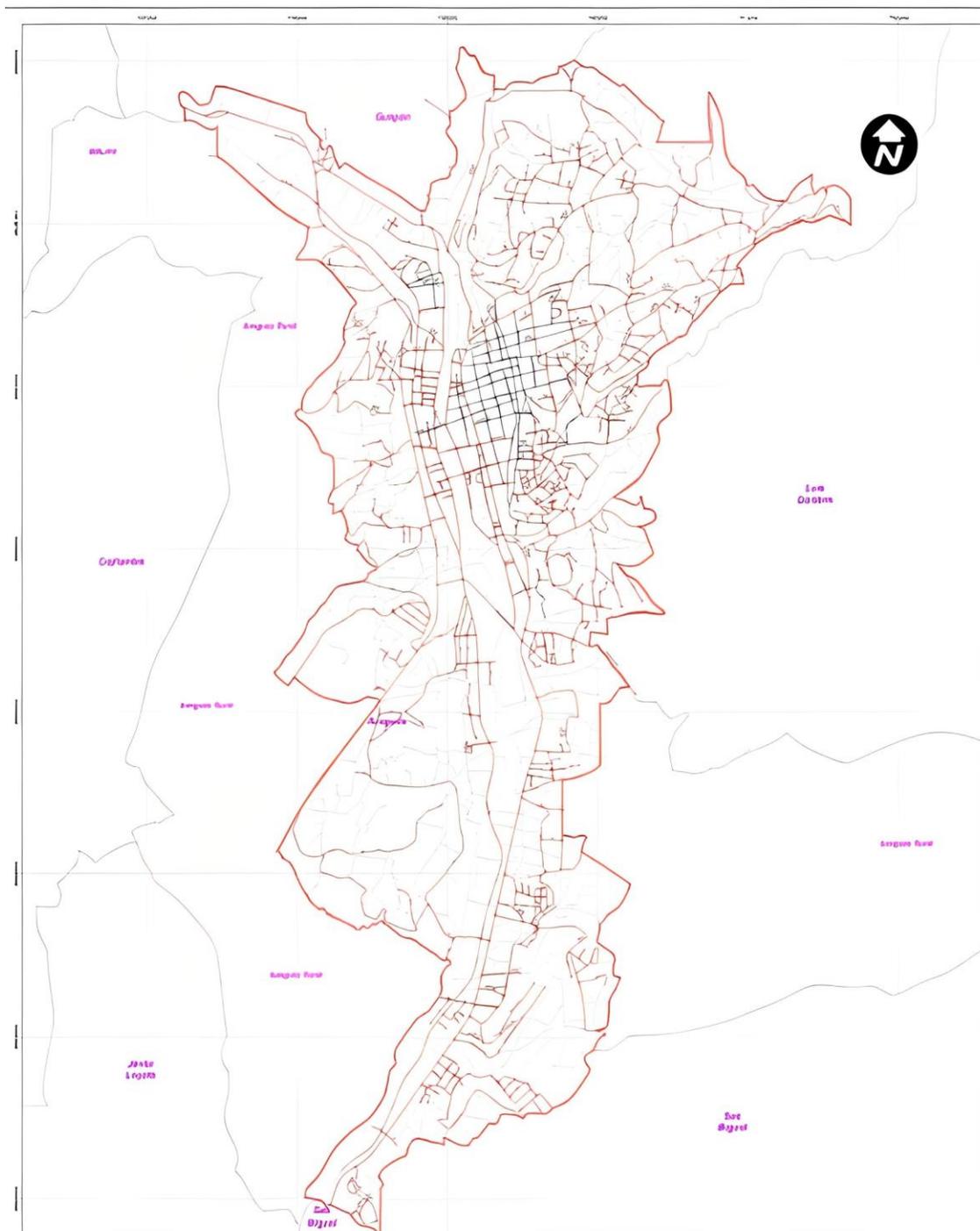


Figura 2.1: Red vial de Azogues, GAD Azogues, 2019.

En la figura 2.1 se aprecia las distintas redes viales de la ciudad de Azogues, de las cuales se considerarán un total de 117 vías para el análisis de estudio.

2.2. CLASES DE ALUMBRADO PÚBLICO ACOPLADO A LA RED VIAL DE LA URBE DE AZOGUES.

Como se indicó en la sección 2.1 la urbe de Azogues presenta diferentes arterias viales, las que están clasificadas por su uso, límite de velocidad y densidad vehicular; así como en la sección 1.4 se dio a conocer las clases de alumbrado público para cada tipo de vía. Esta información, nos permitió realizar la asignación de clases de alumbrado a cada una de las arterias viales de Azogues.

Tabla 2.4: Clases de alumbrado público para cada arteria vial, (Fuente:[Autores.]

Clase de alumbrado	Vía Secundaria (km/h)	Vía Colectora (km/h)	Vía Local (km/h)
M1	90		
M2	40-50	50	
M3	30	40-30	30-20
M4		20-10	10

De las 117 vías analizadas, 8 vías tienen una clase de alumbrado M2, 23 vías son clase M3 y 86 vías clase M4.

De igual forma se obtiene la cantidad de vías según su arteria vial, donde se tienen que, 23 vías pertenecen a vías secundarias, 31 vías son colectoras y 63 son vías locales.

Tabla 2.5: Número de vías que pertenecen según su arteria vial y tipo alumbrado,, (Fuente:[Autores.]

Clase de alumbrado	Vía Secundaria	Vía Colectora	Vía Local	General
M2	7	1	0	8
M3	16	5	2	23
M4	0	25	61	86
General	23	31	63	117

2.3. CÁLCULO DE LAS ÁREAS ILUMINADAS POR EL SAP DE LA EEA.

El cálculo de las áreas iluminadas por el SAP de la EEA se aplicó a cada una de las arterias viales secundarias, colectoras y locales debidamente establecidas por el plan de ordenamiento territorial de Azogues, el área se evaluó en campo, a partir de la medición longitudinal de la vía seleccionada utilizando un distanciómetro y calculando la media del ancho total de la vía. Los resultados vienen dados en metros cuadrados (m^2).

Se verificaron los resultados medidos con los datos establecidos en el geoportal SIG de la EEA.

Esta plataforma Geoportal SIG es un sistema de información geográfica donde podemos encontrar, gestionar y analizar datos respecto a todo el sistema de distribución, dentro de esta distinguimos: ubicación, tipo y potencia de cada una de las luminarias instaladas para el SAP, así como el grupo de vías que pertenece a la concesión de la empresa distribuidora.

2.3.1. Contraste de mediciones de la calzada.

Para conocer la veracidad de los datos obtenidos a través del Geoportal GIS, se realiza un contraste de medición respecto a los datos obtenidos en campo, para lo cual, tomamos como ejemplo la vía Ayacucho, tabla 2.6.

Tabla 2.6: Contraste de mediciones obtenidas en campo vs Geoportal, (Fuente:[Autores.]

	# de Luminarias	Potencia instalada (W)	Longitud via (m)	Ancho de la Calzada (m)	Área (m^2)
Geo portal	12	3000	271,9	11,39	3096,94
Campo	12	3000	272	11,3	3073,6
Error %			0,036	-0,79	-0,75

Como se aprecia en la tabla 2.6, los valores de potencia y área obtenidos en el Geoportal GIS respecto a las de campo tienen un porcentaje de error del 0,036 %, para que los datos sean admisibles para un estudio su porcentaje de error entre los valores no debe superar el 5%, por lo que, los datos adquiridos mediante el Geoportal GIS cumple con esta condición, (Ochoa, 2015).

2.4. PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS DE ILUMINANCIA DEL SAP

La ARCERNNR es el ente encargado de regular los servicios que prestan las EED siendo uno de ellos el SAPG, para lo cual emiten la regulación 006/20 donde se establecen parámetros fotométricos que debe cumplir cada SAP garantizando de esta manera condiciones comerciales y técnicas del servicio.

2.4.1. Cálculo de la iluminancia promedio

Para calcular la iluminancia promedio presente en la vía se empleó el procedimiento de los nueve puntos que se describe en la siguiente sección, para ello es necesario realizar la medición de la iluminancia utilizando un instrumento lumínico denominado luxómetro, este se encarga de medir la densidad de flujo luminoso que percibe la vía en un punto exacto, su unidad de medida es luxes ($\text{lux} = 1 \text{ lumen} / \text{m}^2$).

2.4.2. Cálculo de iluminancia promedio a través del procedimiento de los nueve puntos.

La iluminancia promedio en una vía se calculó por medio del procedimiento de los nueve puntos, el cual consiste en seleccionar a lo largo de la vía una luminaria donde dividimos su distancia en dos respecto a la posición de la otra luminaria más cercana ($L/2$) ahí estará nuestra primera línea transversal, luego la distancia ($L/2$) lo volvemos a dividir obteniendo $((L/2)/2)$ siendo nuestra segunda línea transversal, nuestra primera línea transversal sería una línea perpendicular a la base del poste. Posteriormente al ancho de la vía (A) lo dividimos en dos obteniendo $(H/2)$ que sería nuestra primera línea longitudinal y los dos restantes las tomamos como referencias paralelas a los bordillos de las veredas, las intersecciones de las 3 líneas trasversales con las longitudinales forman 9 puntos, figura 2.3.

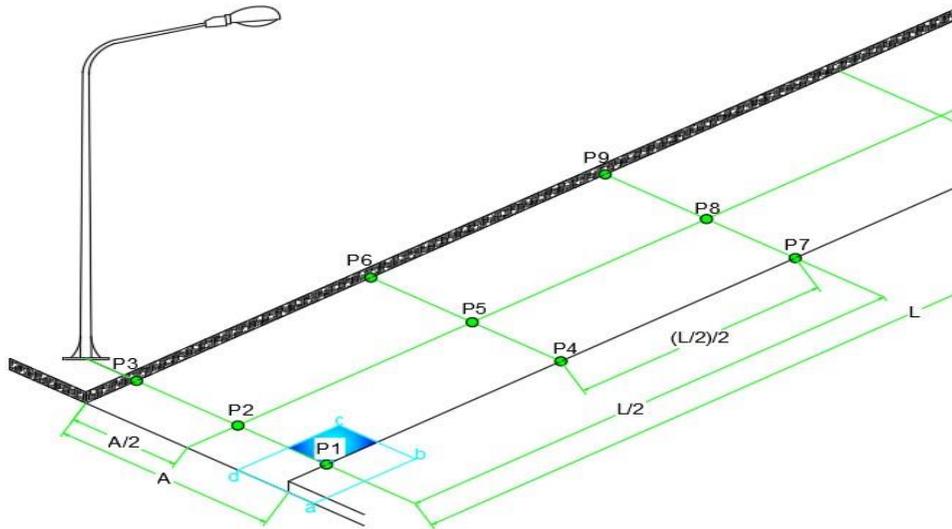


Figura 2.2: Método de cálculo de la iluminancia promedio, Fuente[Autor.]

La disposición de los 9 puntos estará en función de la topología del alumbrado público que esté presente en la vía.

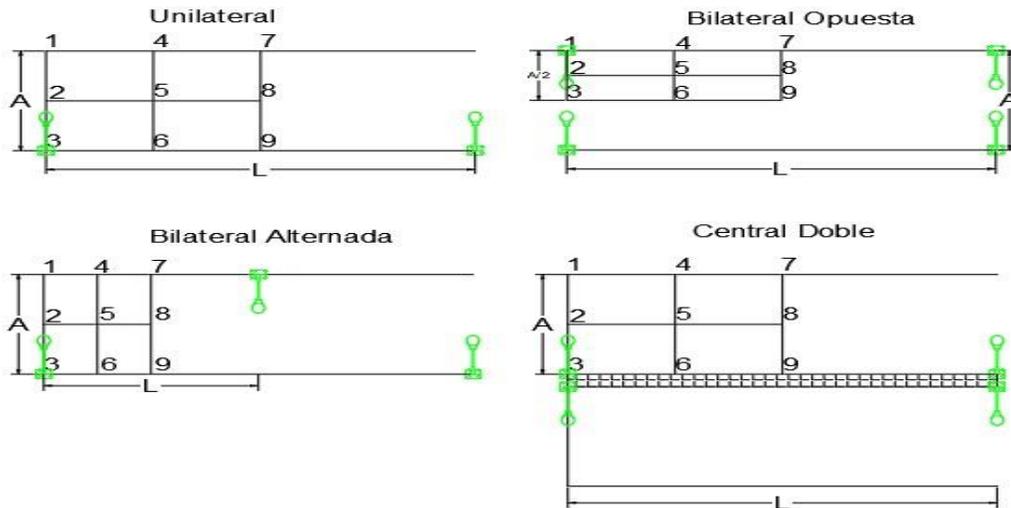


Figura 2.3: Disposición de los 9 puntos en función de la topología de vía, Fuente[Autor.]

Cada uno de estos 9 puntos ya identificados están conformados por cuatro cuartos de áreas a, b, c y d, figura 2.3, los puntos extremos (P1, P3, P7, P9) aportan con un 0.25 % de sus áreas por que un cuarto de sus áreas está dentro de la vía de estudio (área c), por otra parte los puntos medios (P2, P4, P6, P8) aportan con el 0.5 % de sus áreas (c,d) y por último el único punto (P5) contribuye con 100 % de su áreas debido a que sus estas están dentro de la vía de estudio. Con lo antes expuesto, se deriva la siguiente ecuación 2.1:

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(P_{to1} + P_{to3} + P_{to7} + P_{to9}) + 2x(P_{to2} + P_{to4} + P_{to6} + P_{to8}) + 4xP_{to5}] \quad (2.1)$$

2.4.3. Cálculo de la iluminancia promedio de luminarias con tecnología led.

Identificamos una vía que presente luminarias con tecnología LED en su alumbrado para realizar el cálculo. En la vía Veintimilla es donde se realizaron las mediciones y cálculos de iluminancia promedio, obteniendo los resultados de la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Datos para el cálculo de iluminancia promedio, Fuente [Autor.]

Calle	# de luminarias	Potencia c/a (W)	Potencia total (W)	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
C. Veintimilla	26	250	6500	831	11,51	9562

Con los datos obtenidos en campo como la longitud, ancho y potencia destinada al alumbrado, se procedió a aplicar el método de los 9 puntos para obtener el valor de la iluminancia promedio en la vía, seleccionando un vano entre dos luminarias de un tramo de la vía seleccionada figuras 2.4 y 2.5.

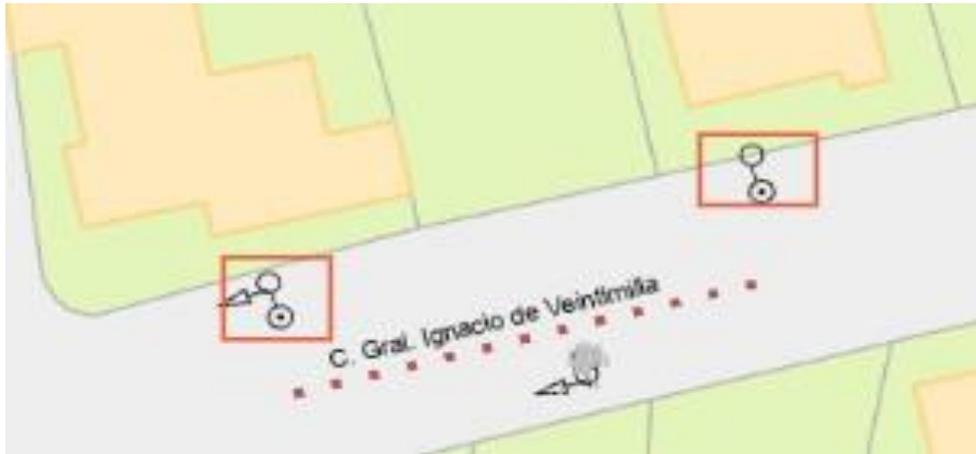


Figura 2.4: Vano de estudio Geoportal, Fuente[Autores.]

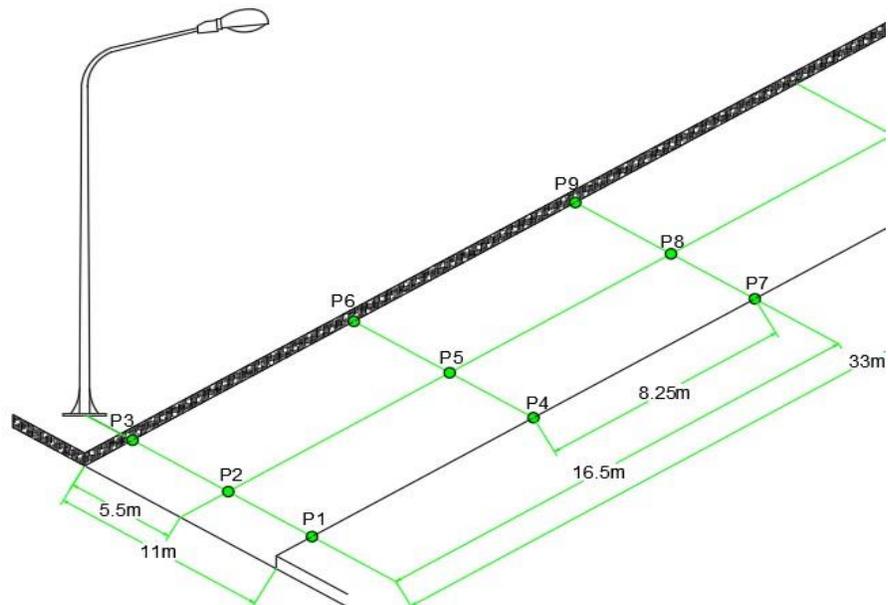


Figura 2.5: Método de los 9 puntos aplicado a la vía de análisis, Fuente[Autores.]

Tabla 2.8: Datos medidos de la vía, con topología unilateral, Fuente[Autor.]

Distancia de luminarias	Mitad entre luminarias (m)	¼ de distancia entre las dos luminarias(m)	Ancho de la vía (m)	Mitad de la anchura(m)
33	16,5	8,25	11	5,5

Una vez identificado los 9 puntos se realiza las mediciones de iluminancia mediante el luxómetro, donde se obtiene los valores para aplicar en la fórmula 2.1, y obtener la iluminancia promedio presente en la calzada.

Tabla 2.9: Valores de las mediciones, (Fuente:[Autores.]

C. Veintimilla	Pto1	Pto2	Pto3	Pto4	Pto5	Pto6	Pto7	Pto8	Pto9
E max (lx)	47,6	66,1	69,7	40,2	35,4	31,8	29,2	26,6	23,5

Una vez realizado las mediciones, toma de datos y respectivos cálculos se obtuvo una iluminancia promedio de 40,06 (lx) en la vía.

2.4.4. Cálculo de iluminancia promedio en luminarias de sodio.

Para el cálculo de iluminancia promedio de luminarias de sodio cerrada aplicamos la misma metodología que el de las luminarias LED, para este caso seleccionamos una vía que presente en su alumbrado público luminarias de sodio cerrada. Elegimos la vía Ayacucho donde seleccionamos un tramo de la vía, figura 2.6. Se procede a tomar medidas de la calzada, como también análisis del alumbrado público, obteniendo los siguientes datos.

Tabla 2.10: Datos para el cálculo de iluminancia promedio, (Fuente:[Autores.]

Calle	# de luminarias	Potencia c/a (W)	Potencia total (W)	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
C. Ayacucho	12	250	3000	272	11,3	3073,6



Figura 2.6: Vano de estudio Geoportál, Fuente:[Autores.]

Tabla 2.11: Datos medidos de la vía, (Fuente:[Autores.]

Topología	Interdistancia de luminarias	Mitad entre las dos luminarias(m)	$\frac{1}{4}$ de distancia entre las dos luminarias(m)	Anchura de la vía (m)	Mitad de la anchura(m)
Unilateral	36	18	9	9,5	4,75

Con el luxómetro posicionado en los puntos ya identificados obtenemos los siguientes valores de iluminancia.

Tabla 2.12: Valores de las mediciones, (Fuente:[Autores.]

C. Ayacucho	Pto1	Pto2	Pto3	Pto4	Pto5	Pto6	Pto7	Pto8	Pto9
E max (lx)	37,8	36,4	33,6	13,8	16,3	14,1	11,3	13,8	8,6

Al igual que en el ejemplo anterior aplicamos la ecuación 2.1, obteniendo como iluminación promedio 19,54 (lx) en la vía.

2.5. COTEJO DE DPEA ENTRE ILUMINACIÓN DE LED Y SODIO.

Ya obtenido la iluminancia promedio de cada vía pertenecientes a cada tipo de luminaria, se realizó el cálculo del coeficiente de eficiencia energética, donde se observa los valores obtenidos por cada sistema de alumbrado, en la cual el sistema de alumbrado público con luminarias de sodio supera a la LED en este ejemplo, debido a que el área de la vía Ayacucho es menor a la Veintimilla, mejorando notablemente de esta manera la DPEA.

Tabla 2.13: Cotejo de resultados obtenidos por cada luminaria, (Fuente:[Autores.]

Proceso	Vía	Led (lx)	Sodio (lx)	DPEA (W/m ²)
nueve puntos	C. Veintimilla	40,06		0,68
	C. Ayacucho		19,54	0,97

2.5.1. Cálculo de la Relación de Alrededores.

Se realizó el cálculo de la relación de alrededores de las vías que se vienen analizando. Primero se procede a calcular la iluminancia promedio tanto para el lado opuesto de la luminaria, como en el sentido de está, aplicando el método de los 9 puntos. Luego de obtenido la iluminancia promedio, aplicamos la ecuación 1.2 para el cálculo de relación de alrededores, obteniendo los siguientes resultados mismo que se comparan con lo establecido en la regulación, tabla 2.14:

2.6. LUMINANCIA E ILUMINANCIA PROMEDIO SEGÚN LA CLASE DE ALUMBRADO. 39

Tabla 2.14: Relación de alrededores obtenida vs la regulación.

Calle	Evi (lx) acera	Eci (lx) vía	(SR) obtenido	(SR) min regulación
C. Veintimilla	30,14	33,17	0,90	0,5
C. Ayacucho	13,01	17,58	0,74	0,5
C. Veintimilla	28,03	30,84	0,90	0,5
C. Ayacucho	12,09	15,94	0,75	0,5

2.5.2. Coeficiente de uniformidad.

De igual forma aplicamos el cálculo del coeficiente de uniformidad a las vías que se vienen analizando, para obtener la iluminancia promedio aplicamos el proceso de los nueve puntos y para la mínima tomamos la medición mínima más baja obtenida de los 9 puntos, se indica los valores obtenidos del coeficiente de uniformidad los cuales de las vías seleccionadas no satisfacen con la regulación tabla 2.15, el coeficiente de uniformidad varía dependiendo de la clase de vía a la que apliquemos las mediciones.

Tabla 2.15: Parámetro del coeficiente de uniformidad obtenida, (Fuente:[Autores.]

Vía	Ilum.min (lx)	Ilum.prom (lx)	Uniformidad Calculada	Uniformidad Regulada
C. Veintimilla	23,5	40,06	58 %	40 %
C. Ayacucho	8,6	19,54	44 %	40 %

2.6. LUMINANCIA E ILUMINANCIA PROMEDIO SE- GÚN LA CLASE DE ALUMBRADO.

Cada calzada debe cumplir con una luminancia e iluminancia promedio según la clase de alumbrado que pertenece, estos valores promedios están dados por el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, en la tabla 2.16, se detalla la luminancia e iluminancia promedio en función de la clase de alumbrado (Gil y Minassian, 2009).

2.6. LUMINANCIA E ILUMINANCIA PROMEDIO SEGÚN LA CLASE DE ALUMBRADO. 40

Tabla 2.16: Iluminancia y luminancia promedio por el tipo de alumbrado,, (Fuente:[Autores.])

Tipo de alumbrado	Iluminancia promedio (cd/m ²)	Iluminancia promedio (Lm/m ²)
M2	23	1,5
M3	18	1,2
M4	12	0,8

Se realiza la comparación de los resultados obtenidos de las vías de estudio de la urbe de Azogues, respecto a lo establecido en el reglamento, en donde la vía Ayacucho está catalogada como viario arterial secundario con una clase de alumbrado M2, demandando una iluminancia promedio de 23lx según el reglamento y obteniendo en campo un valor de 19,54 lx, de igual forma realizamos para la C. Veintimilla la cual posee las mismas características viales que la anterior, obteniendo una iluminancia en campo de 40,06 lx.

Tabla 2.17: Iluminancia promedio obtenida vs la requerida, (Fuente:[Autores.])

Vía	Tipo de Alumbrado	Vel (Km/h)	Iluminación promd (lx)	Iluminación media (lx)
C. Veintimilla	M2	40	23	40,06
C. Ayacucho	M2	40	23	19,54

En la tabla 2.17, se analizó los resultados de iluminancia calculados respecto a los emitido por el reglamento, donde se aprecia que la C. Ayacucho que presenta luminarias de sodio no cumple con la iluminancia promedio requerida, mientras que la C. Veintimilla cumple y se encuentra sobre iluminada, esta vía presenta alumbrado público con tecnología LED.

Capítulo 3

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DPEA.

En este apartado se realiza el análisis del indicador de eficiencia energética DPEA, una vez identificado los valores para su cálculo, se procede a interpretar los resultados, para lo cual se requiere delimitar la zona de estudio de la urbe de Azogues, dentro de la cual se clasificaron las vías según la Regulación 006-20 emitida por la ARCERNNR y por el plan de ordenamiento territorial.

Una vez realizado el análisis del indicador de eficiencia energética del SAP de las vías a las que presta servicio la EEA se identificó las vías que se encuentran correctamente iluminadas y las que no, en base al indicador y parámetros fotométricos.

3.1. CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENER- GÉTICA DPEA.

3.1.1. Metodología e indicaciones al momento de evaluar el indicador de eficiencia energética.

La metodología para evaluar el indicador de eficiencia energética se aplicó en función del RETILAP “Uso racional de energía en alumbrado público”. Y la forma en la que se realizó las mediciones para el cálculo se describen en el presente trabajo.

Al momento de realizar el cálculo de la DPEA se consideraron los siguientes puntos.:

- Para los equipos de iluminación que poseen dispositivos auxiliares para su funcionamiento como balastos, se debe considerar un aumento del 10 % de la potencia de la luminaria.
- - Delimitar el área de cobertura donde se pretende aplicar el cálculo de la DPEA, No incorporar superficies al momento de realizar la evaluación, si es que, estas no están contempladas dentro del alumbrado.

3.1.2. Cálculo del índice de eficiencia energética DPEA.

Se realizó el cálculo de la DPEA, una vez obtenido los datos necesarios para el cálculo como la potencia total destinada a la iluminación de la calzada de estudio y conociendo el área total a iluminar de la misma se aplica la ecuación 1.1, y de esta manera obtener el indicador de eficiencia energética.

Tabla 3.1: Coeficiente de eficiencia energética de la C. Ayacucho, (Fuente:[Autores.]

# de Luminarias	Potencia instalada (W)	Longitud vial (m)	Ancho de la calzada (m)	Área (m ²)	DPEA (W/m ²)
12	3000	272	11,3	3073,6	0,97

3.2. DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE ALUMBRADO MÍNIMA.

Para realizar el análisis del indicador de eficiencia energética del alumbrado público de cada vía de la ciudad, es necesario conocer los valores mínimos requeridos de la DPEA establecidos en el reglamento, los mismos que se detallan.

3.3. ESTUDIO DEL INDICADOR DE LA DPEA Y ILUMINANCIA SAP DE LA CIUDAD DE AZOGUES.43

Tabla 3.2: Datos mínimos del indicador de la DPEA, , (Fuente:[Autores.])

Tipo de alumbrado	Mínima DPEA (W/m ²)	Ilumin promedio (lx)
M2	0,41	23
M3	0,32	18
M4	0,21	12

3.3. ESTUDIO DEL INDICADOR DE LA DPEA Y ILUMINANCIA SAP DE LA CIUDAD DE AZOGUES.

La DPEA está en función de la iluminancia promedio presente en la calzada y el ancho de esta, en base a estos datos el reglamento establece valores máximos de DPEA, para ello se procede a realizar el respectivo análisis de cada una de las vías ya clasificadas de la ciudad de Azogues, una vez calculada la iluminancia promedio y mediadas en campo se compara con lo planteado en la regulación. Con los datos ya obtenidos de iluminancia promedio y ancho de la calzada se procede a realizar el análisis del coeficiente de eficiencia energética DPEA, para lo cual se verifica en la tabla 4 el valor requerido en función de los datos de la calzada, el cual indica que su coeficiente de eficiencia energética se encuentra dentro de los valores admisibles.

Tabla 3.3: Análisis de la DPEA calculada vs la requerida por el reglamento, (Fuente:[Autores.])

Calle	Clase de alumbrado	Iluminación promedio (lx)	Ancho (m)	DPEA calculada (W/m ²)	DPEA max (W/m ²)	DPEA min (W/m ²)
Ayacucho	M2	23	11,30	0,97	1,33	0,32

De esta forma se procede a realizar el análisis del indicador de eficiencia energética de cada una de las vías del caso de estudio. En total se analizan 117 vías, que están dentro de las siguientes arterias viales: viario arterial secundario, vías locales y colectoras.

3.3. ESTUDIO DEL INDICADOR DE LA DPEA Y ILUMINANCIA SAP DE LA CIUDAD DE AZOGUES.44

- Viario arterial secundario: Dentro de esta jerarquía vial se encuentran 23 vías, de las cuales una vez efectuado el respectivo análisis del coeficiente de eficiencia energética se extrae 5 vías que no están dentro del rango permitido por el reglamento.

Tabla 3.4: Vías de la arteria vial secundarias que no cumplen con la DPEA.

Vías Secundarias que no cumplen					
		DPEA calculada (W/m ²)	DPEA max (W/m ²)	DPEA min (W/m ²)	
1.	Av. Ernesto Che Guevara	0,25	1,04	0,32	No Cumple
2.	Av. Rumiñahui	0,3	1,04	0,32	No Cumple
3.	Av. HRN. Miguel	0,39	1,33	0,41	No Cumple
4.	Av. Ignacio Neira	0,35	1,33	0,41	No Cumple
5.	Av. Homero Catanier Crespo	0,23	1,04	0,32	No Cumple

- Arteria Colectora: Dentro de esta jerarquía vial se encuentran 31 vías, de las cuales una vez efectuado el respectivo análisis del coeficiente de eficiencia energética se extrae 10 vías que no están dentro del rango permitido por el reglamento.

3.3. ESTUDIO DEL INDICADOR DE LA DPEA Y ILUMINANCIA SAP DE LA CIUDAD DE AZOGUES.45

Tabla 3.5: Vías de la arteria vial colectora que no cumplen con la DPEA, (Fuente:[Autores.]

Vías Secundarias que no cumplen					
		DPEA calculada (W/m ²)	DPEA max (W/m ²)	DPEA min (W/m ²)	
1.	C. San Francisco	1,37	0,69	0,21	No Cumple
2.	C. Azuay	0,77	0,74	0,21	No Cumple
3.	C. Cacique Tenemaza	0,8	0,74	0,21	No Cumple
4.	C. Benigno Rivera	0,94	0,81	0,21	No Cumple
5.	C. Julio Maria Matovelle	1,07	0,81	0,21	No Cumple
6.	C. Simon Bolivar	0,75	0,74	0,21	No Cumple
7.	C. Benigno Malo	1,19	0,81	0,21	No Cumple
8.	C. Luis Ariosto Muñoz	0,94	0,86	0,21	No Cumple
9.	C. Imbabura	0,87	0,74	0,21	No Cumple
10.	C. Alberto Ochoa	0,67	0,69	0,21	No Cumple

- Arteria Local: Dentro de esta jerarquía vial se encuentran 63 vías, de las cuales una vez efectuado el respectivo análisis del coeficiente de eficiencia energética se extrae 15 vías que no están dentro del rango permitido por el reglamento.

Tabla 3.6: Vías de la arteria vial local que no cumplen con la DPEA, (Fuente:[Autores.]

Vías Secundarias que no cumplen					
		DPEA calculada (W/m ²)	DPEA max (W/m ²)	DPEA min (W/m ²)	
1.	C. Adolfo Palomeque	0,88	0,81	0,21	No Cumple
2.	C. Paccha	0,87	0,81	0,21	No Cumple
3.	C. Chapera	1,3	0,86	0,21	No Cumple
4.	C. Carlos Dominguez Tapia	1,03	0,81	0,21	No Cumple
5.	C. Pizar Capac	1,1	0,86	0,21	No Cumple
6.	C. Los Laureles	1,11	0,86	0,21	No Cumple
7.	C. Emilio Reyes	0,97	0,81	0,21	No Cumple
8.	C. Biblian	1,2	0,91	0,21	No Cumple
9.	C. El Tambo	1,15	0,91	0,21	No Cumple
10.	C. Oswaldo Guayasamin	0,96	0,86	0,21	No Cumple
11.	C. Eduardo Jara A	1,09	0,86	0,21	No Cumple
12.	C. Cojitambo	1,11	0,91	0,21	No Cumple
13.	C. Ezequiel Siguenza	1,56	0,86	0,21	No Cumple
14.	C. Patricio Montero	1,02	0,74	0,21	No Cumple
15.	C. Emilio Izquierdo	0,18	0,74	0,21	No Cumple

3.4. ANÁLISIS TOTAL DE LA DPEA DE LAS ARTERIAL VIALES.

Una vez realizado el análisis del coeficiente de eficiencia energética de todos los grupos de arterias vales, como de todas las clases de alumbrado de la urbe de Azogues, se obtiene que, de las 117 vías analizadas, 87 de ellas se encuentran en los márgenes admisibles y 30 vías no cumplen con los rangos establecidos por la regulación, de las cuales 24 vías están sobre iluminadas y 6 vías presentan una escasez de iluminación.

Tabla 3.7: Vías que no cumplen con la DPEA por falta de iluminación, (Fuente:[Autores.]

Vías Secundarias que no cumplen		
1.	Av. Ernesto Che Guevara	Falta iluminación
2.	Av. Rumiñahui	Falta iluminación
3.	Av. HRN. Miguel	Falta iluminación
4.	Av. Ignacio Neira	Falta iluminación
5.	Av. Homero Catanier Crespo	Falta iluminación

Tabla 3.8: Vías colectoras que no cumplen con la DPEA por estar sobre iluminación, (Fuente:[Autores.]

Vías Colectoras que no cumplen		
6.	C. San Francisco	Sobre iluminación
7.	C. Azuay	Sobre iluminación
8.	C. Cacique Tenemaza	Sobre iluminación
9.	C. Benigno Rivera	Sobre iluminación
10.	C. Julio Maria Matovelle	Sobre iluminación
11.	C. Simon Bolivar	Sobre iluminación
12.	C. Benigno Malo	Sobre iluminación
13.	C. Luis Ariosto Muñoz	Sobre iluminación
14.	C. Imbabura	Sobre iluminación
15.	C. Alberto Ochoa	Sobre iluminación

Tabla 3.9: Vías locales que no cumplen con la DPEA por estar sobre iluminación, (Fuente:[Autores.]

Vías Colectoras que no cumplen		
16.	C. Adolfo Palomeque	Sobre iluminación
17.	C. Paccha	Sobre iluminación
18.	C. Chapera	Sobre iluminación
19.	C. Carlos Dominguez Tapia	Sobre iluminación
20.	C. Pizar Capac	Sobre iluminación
21.	C. Los Laureles	Sobre iluminación
22.	C. Emilio Reyes	Sobre iluminación
23.	C. Biblian	Sobre iluminación
24.	C. El Tambo	Sobre iluminación
25.	C. Oswaldo Guayasamin	Sobre iluminación
26.	C. Eduardo Jara A	Sobre iluminación
27.	C. Cojitambo	Sobre iluminación
28.	C. Ezequiel Siguenza	Sobre iluminación
29.	C. Patricio Montero	Sobre iluminación
30.	C. Emilio Izquierdo	Sobre iluminación

Capítulo 4

ANÁLISIS DE SIMULACIONES Y PROGRAMA EN MATLAB

La optimización del SAP se realizó con base a la ecuación 1.3 del indicador de eficiencia energética donde conociendo las características o necesidades de cada vía a iluminar se procedió con la optimización del SAP utilizando el programa de Matlab dentro del cual seleccionamos el tipo, potencia y tecnología de la luminaria que deseamos implementar para el alumbrado, y de acuerdo a esta luminaria el programa analiza cada uno de los parámetros fotométricos, así como, el indicador de eficiencia energética descritos en el capítulo 1 que debe cumplir la vía según su tipo de alumbrado a la que pertenezca, dando como resultado el cumplimiento de los parámetros fotométricos de la regulación así como del indicador de eficiencia energética, el número exacto de luminarias, interdistancias de las mismas, garantizando de esta manera un SAP óptimo, eficiente y de calidad.

4.1. OPTIMIZACIÓN DEL SAPG

La optimización para el SAP se realizó con base a la luminaria que deseamos implementar para el alumbrado, longitud de la vía, ancho de la calzada, número de carriles, altura de la luminaria a la que va hacer instalada, longitud del brazo, clase de alumbrado que pertenece la vía a iluminar, tipo de superficie y disposición de luminarias, todos estos datos se ingresaron considerando la topología o características propias de la vía, las cuales una vez ingresados, el programa procede a realizar la optimización mediante el cálculo de la ilumi-

nancia promedio ecuación 4.1

$$E_{prom} = \frac{1}{16} * [(Pto1 + Pto3 + Pto7 + Pto9) + 2 * (Pto2 + Pto4 + Pto6 + Pto8) + 4 * Pto5]$$

Una vez calculado la iluminancia promedio, el programa se encarga de analizar y hacer cumplir cada uno de los parámetros fotométricos como del indicador de eficiencia energética que debe cumplir la vía con base a los datos ingresados, dando como resultado el número de luminarias que se deben instalar, garantizando el cumplimiento de la regulación y del indicador.

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL SAP PREVIO A SU SIMULACIÓN.

En la tabla 4.1, se describe las avenidas o calles que están sobre o carecen de iluminación. Tenemos cinco avenidas y una calle que tiene poco nivel de iluminación. Para el caso que están sobre iluminadas tenemos un total de 22 calles de las cuales se realizaron las simulaciones en el software Dialux Evo.

También en la tabla 4.1, se describe el tipo de vía, clase de calzada, flujo luminoso, total de lámparas, el valor promedio del vano ya que el sistema no es uniforme durante su trayecto, por lo que se calculó la media de los vanos.

Tabla 4.1: Descripción y características de las avenidas y vías a simular que no cumplen con los parámetros de calidad, (Fuente:[Autores.]

Nº	Nombres	Clase de via y calzada	Eprom (μ)	Iluminación	Total Lamp	Vano prom
1	Av. Che Guevara	M3, P3	18	Falta	25	41,37
2	Av.Rumiñahui	M3, P3	18	Falta	34	33,15
3	Av. HRN Miguel	M2, P3	23	Falta	50	40,23
4	Av. Ignacio Neira	M2, P3	23	Falta	69	33,72
5	Av. Homero Castanier	M3, P3	18	Falta	34	20,73
6	C. San Francisco	M4, P3	12	Sobre	16	14,8
7	C. Azuay	M4, P3	12	Sobre	30	33,75
8	C. Cacique Tenemaza	M4, P3	12	Sobre	15	25,85
9	C. Benigno Rivera	M4, P3	12	Sobre	20	24,1
10	C. Julio M Matovelle	M4, P3	12	Sobre	8	31,13
11	C. Simon Bolivar	M4, P3	12	Sobre	52	30,26
12	C. Benigno Malo	M4, P3	12	Sobre	16	19,06
13	C. Luis Ariosto Muños	M4, P3	12	Sobre	7	30,43
14	C. Imbabura	M4, P3	12	Sobre	4	29
15	C. Alberto Ochoa	M4, P3	12	Sobre	7	34,29
16	C. Paccha	M4, P3	12	Sobre	3	29
17	C. Adolfo Palomeque	M4, P3	12	Sobre	10	19,06
18	C. Chapera	M4, P3	12	Sobre	3	35,5
19	C. Carlos Dominguez	M4, P3	12	Sobre	10	26,2
20	C. Piscar Capac	M4, P3	12	Sobre	2	40
21	C. Los Laureles	M4, P3	12	Sobre	6	24,6
22	C. Emilio Reyes	M4, P3	12	Sobre	3	24,5
23	C. Biblian	M4, P3	12	Sobre	4	29
24	C. Oswaldo Guayasamin	M4, P3	12	Sobre	3	23,5
25	C. Tambo	M4, P3	12	Sobre	6	35,5
26	C. Estuardo Jara	M4, P3	12	Sobre	3	37,5
27	C. Cojitambo	M4, P3	12	Sobre	3	17,5
28	C. Esequiel Siguenz	M4, P3	12	Sobre	3	19
29	C. Patricio Montero	M4, P3	12	Sobre	2	32
30	C. Emilio Izquierdo	M4, P3	12	Falta	3	30

Para realizar una correcta simulación se debe tener presente los parámetros que nos proporciona la regulación que anteriormente se describió, también tener presente parámetros de la vía y lámpara como es: ancho de vía, ancho de bordillo, tipo de vías (cemento, asfalto, etc), altura del poste, distancia entre bordillo, tipo lámpara y el grado de inclinación de lámpara.

Las lámparas que se utilizaron para la simulación para el caso de las lámparas de sodio de baja presión se utilizó del modelo FLA461 [S60] IP66: HST-X4-250W/E40, entre sus características principales se describe a continuación.

Tabla 4.2: Características de la lámpara de sodio modelo FLA461 [S60] IP66: HST-X4-250W/E40, (Fuente:[Autores.]

Características principales	
Potencia nominal	250 W
Flujo de la lámpara	33200 lm
Eficiencia luminosa	81 lm/W
CCT	2000K
CRI	22
Enchufe	E40
LOR	67 %
Flujo total	22177 lm
Potencia total	275 W

a continuación se presenta su fotometría.

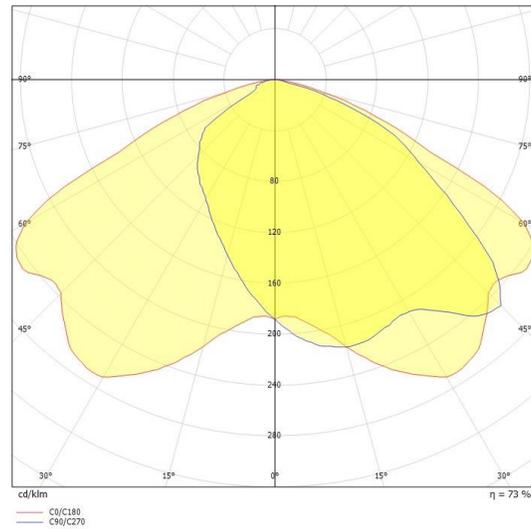


Figura 4.1: Fotometría de la lámpara de sodio modelo FLA461 [S60] IP66: HST-X4-250W/E40, Fuente[Autores.]

Para el caso de las lámparas LEDs, se utilizó de la marca OPPLE de 180, 150 y 80 W, entre las principales características se describe a continuación.

Tabla 4.3: Características de la lámpara marca OPPLE LED 150 W, (Fuente:[Autores.]

Características principales	
Potencia nominal	150 W
Flujo de la lámpara	18758 lm
Eficiencia luminosa	125 lm/W
Angulo de haz de la luz	2000K
CRI	150 ° x 70°
Vida útil (L80)	70000
LOR	67 %
Flujo total	22177 lm
Potencia total	275 W

a continuación se presenta su fotometría.

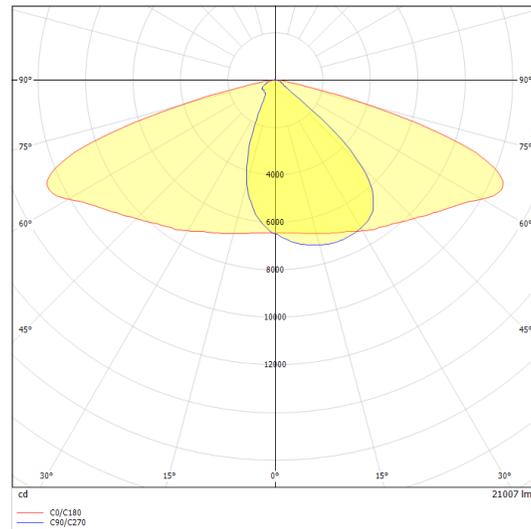


Figura 4.2: Fotometría de la lámpara LED 150 W marca OPPLÉ, Fuente[Autores.]

El punto negativo del software es que no se puede simular en la misma vía diferentes tipos de luminarias ya que nuestro sistema de alumbrado público en una misma vía posee diferentes tipos de lámparas a diferente nivel de potencia. En cuanto a las avenidas y calles simuladas con las lámparas de sodio de alta presión tenemos que no cumple con los parámetros de calidad que nos indica la regulación 006/20 ARCERNR, por tanto, en la simulación se reemplazó por una tecnología más eficiente como son las actuales lámparas LEDs, con ese reemplazo se cumplió con todos los parámetros que nos indica la regulación 006/20 ARCERNN.

4.3. ANÁLISIS DE LA VÍA A SIMULAR.

Se requiere realizar el análisis en campo y portales georreferenciales de la empresa distribuidora, para determinar las dimensiones de los parámetros necesarios para su simulación, descritas en la tabla 4.1.

Totalizar el número, tipo y potencia de lámparas que posee la vía a analizar, como también la longitud de sus vanos para sacar su media y así poder realizar su simulación, ya que el software nos permite ingresar solo una distancia,

4.4. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA REGULACIÓN NRO. 006/20 ARCERNNR.55

descritas en la tabla 4.1.

4.4. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA REGULACIÓN NRO. 006/20 ARCERNNR.

Es necesario realizar una clasificación de acuerdo a la regulación 006/20 como se encuentra clasificado en la tabla 4.1, de los siguientes parámetros.

- Clasificación del tipo de vía (M1 a M5),
- Tipo de superficie de vía (R1 a R5).
- El tipo de circulación vehicular (unidireccional o bidireccional)
- El tipo de iluminación de las aceras (P1 a P5)

4.5. EMPLAZAMIENTO DE LUMINARIAS EN LA VÍA

Una vez determinado los parámetros de acuerdo a la regulación, y el análisis del tipo de vía, se colocó en el software los parámetros de la tabla 4.1.

El estándar utilizado para nuestras simulaciones se escogió el EN 132021:2015. Y el tipo CIE R3 de calzada para asfalto, se debe ingresar además el ancho de calzada, número de carriles, y la clase de iluminación de la vía de acuerdo a la regulación.

4.5.1. Parámetros del tipo de camino peatonal.

La clase de iluminación (P1-P5) es un parámetro importante, esta se ingresa de acuerdo a la regulación, también se debe ingresar el ancho y altura del camino peatonal.

4.5.2. Parámetros del parter o zona verde.

En este campo se debe colocar lo que es el ancho y altura del parter o área verde, si se dispone en la vía a analizar.

4.5.3. Selección del tipo de luminaria a utilizar.

Se procedió a seleccionar el tipo de luminaria (extensión IES) que se va utilizar, para el caso de lámparas Leds se utilizó de la marca OPPLÉ y para el caso de las lámparas de sodio del modelo FLA461 [S60] IP66: HST-X4-250W/E40.

4.5.4. Parámetros de la ubicación de la lámpara en el poste (mástil).

Ya seleccionado el tipo de luminaria a utilizar, se procede a elegir la disposición de la luminaria puede ser disposición unilateral abajo, unilateral arriba, disposición bilateral, disposición bilateral en alternancia.

4.6. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FOTO- MÉTRICOS.

Los parámetros fotométricos se ingresaron de acuerdo a la regulación 006/20, estos son la luminancia media, uniformidad general, uniformidad longitudinal, incremento de umbral y relación de alrededores.

4.7. SIMULACIÓN EN EL PROGRAMA DIALUX.

En los parámetros anteriormente descritos y analizados, se procedió a realizar el diseño y simulación, se utilizó como ejemplo la Av. Che Guevara que está constituida por dos carriles bidireccionales, un parter y dos caminos peatonales figura 4.3.

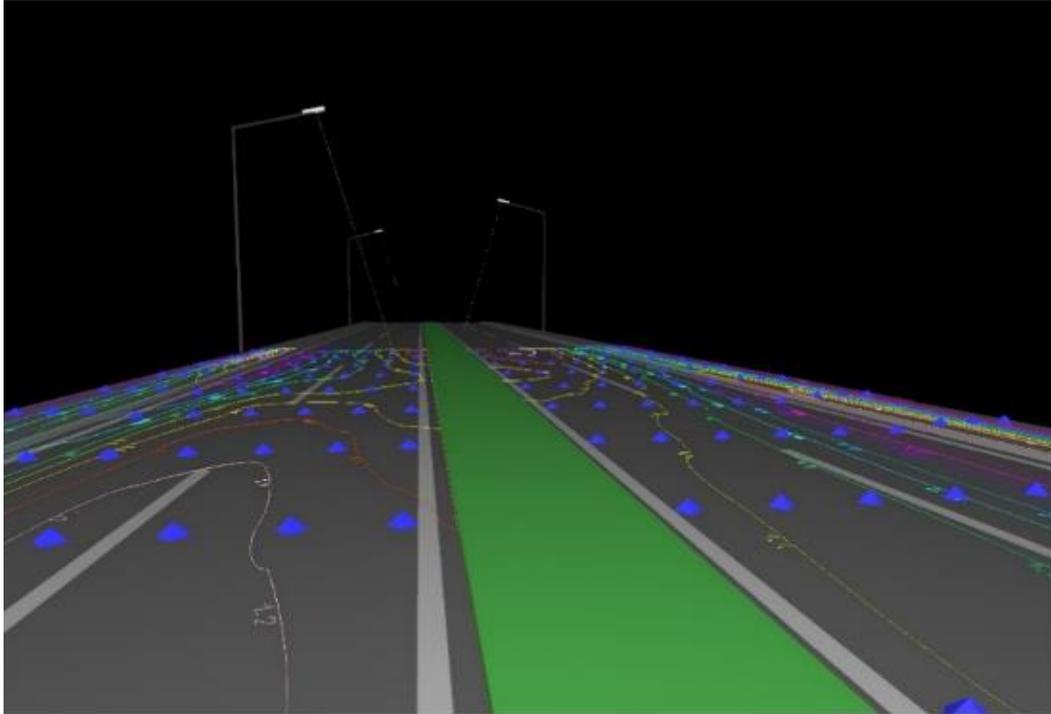


Figura 4.3: Simulación de la Av. Che Guevara, Fuente[Autores.]

4.7.1. Resultados de la simulación en el programa Dialux

En el estudio se ejecutó dos simulaciones, la primera con la luminaria existente (Sodio de 250 W) y la segunda con la luminaria (LED 150 W) con la finalidad de cumplir los parámetros requeridos por la regulación y alcanzar una óptima eficiencia energética.

- **Análisis de la lámpara existente (Sodio de 250 W).**

En la figura 4.4. Se presenta el resumen de la característica de la avenida a analizar.

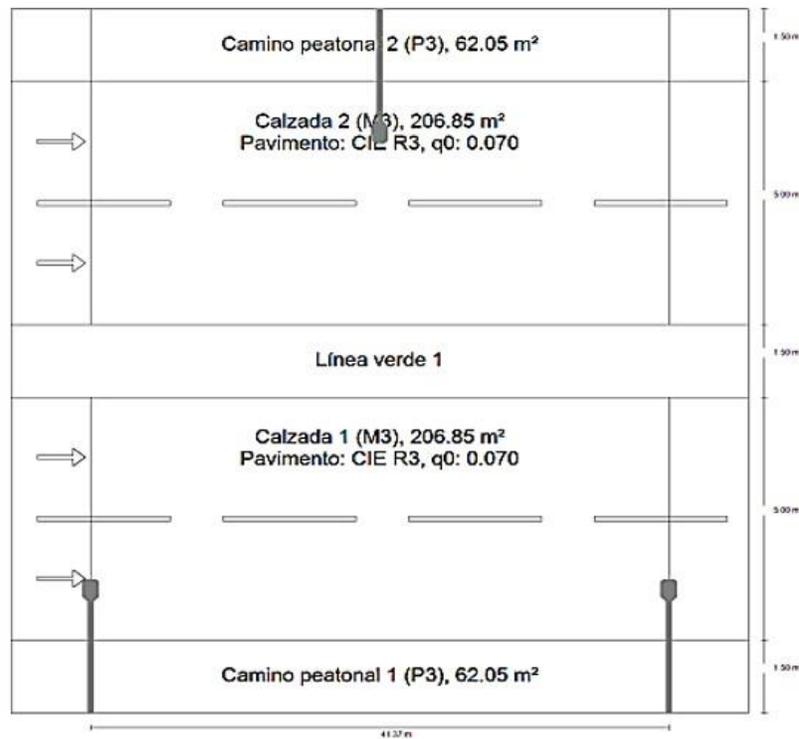
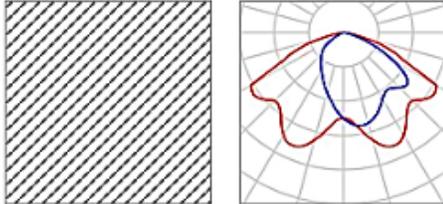


Figura 4.4: Características de la Av. Che Guevara, Fuente[Autores.]

En la figura 4.5. Se muestra la característica de la lámpara ingresada, recalando que es de importancia el análisis de su curva fotométrica de la lámpara, en este caso se puede observar su respectiva distribución del flujo luminoso.

Av. Che Guevara (Sodio 250W)

Resumen (hacia EN 13201:2015)

Fabricante	WE-EF;Eulumdat2	P	275.0 W
Nº de artículo	108-9710	$\Phi_{\text{Lámpara}}$	33200 lm
Nombre del artículo	FLA461 [S60] IP66:HST-X4 250W/E40;FLA461, Street and Area Lighting	$\Phi_{\text{Luminaria}}$	22177 lm
Lámpara	1x HST-X4 250W/220 E40	η	66.80 %

Figura 4.5: Características de la lámpara, Fuente[Autores.]

En la figura 4.6. se presenta las características de la instalación del poste y lámpara. Como es la altura de montaje, distancia entre lámparas, longitud y grado de inclinación del brazo etc.

FLA461 [S60] IP66:HST-X4 250W/E40;FLA461, Street and Area Lighting (bilateral en alternancia)

Distancia entre mástiles	41.370 m
(1) Altura de punto de luz	10.000 m
(2) Saliente del punto de luz	1.000 m
(3) Inclinación del brazo	15.0°
(4) Longitud del brazo	2.535 m
Horas de trabajo anuales	4000 h: 100.0 %, 275.0 W
Consumo	13200.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidad luminica máx. Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	≥ 70°: 355 cd/klm ≥ 80°: 134 cd/klm ≥ 90°: 32.5 cd/klm
Clase de potencia luminica Los valores de intensidad luminica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia luminica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.	G*1
Clase de índice de deslumbramiento	D.4

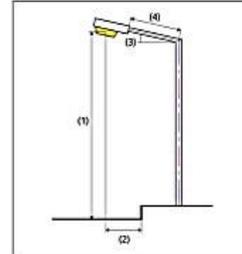


Figura 4.6: Características de montaje de la luminaria.

En la figura 4.7. se presenta el resumen de evaluación. se puede evidenciar que no cumple con el factor mínimo de luminancia promedio e uniformidad longitudinal de luminancia, que de acuerdo a la regulación 006/20 ARCERNR debe tener un valor de $1,5 \text{ cd/m}^2$.

Tenemos un valor simulado de $0,86 \text{ cd/m}^2$.

Para concluir esta luminaria con las características existentes no cumple con los valores establecidos por la regulación.

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Camino peatonal 2 (P3)	E_m	9.63 lx	[7.50 - 11.25] lx	✓
	E_{min}	5.76 lx	≥ 1.50 lx	✓
Calzada 2 (M3)	L_m	0.86 cd/m ²	≥ 1.00 cd/m ²	✗
	U_o	0.52	≥ 0.40	✓
	U_i	0.53	≥ 0.60	✗
	TI	5%	$\leq 15\%$	✓
	R_{E2}	1.08	≥ 0.30	✓
Calzada 1 (M3)	L_m	0.86 cd/m ²	≥ 1.00 cd/m ²	✗
	U_o	0.51	≥ 0.40	✓
	U_i	0.53	≥ 0.60	✗
	TI	5%	$\leq 15\%$	✓
	R_{E2}	1.08	≥ 0.30	✓
Camino peatonal 1 (P3)	E_m	9.63 lx	[7.50 - 11.25] lx	✓
	E_{min}	5.76 lx	≥ 1.50 lx	✓

Figura 4.7: Resultados de la luminaria de Sodio de 250W, Fuente[Autores.]

• **Análisis de la lámpara proyectada (LED 150 W).**

En la figura 4.4. se muestra la AV. a analizar.

En la figura 4.8. se muestra la característica de la lámpara ingresada, en este caso tenemos un tipo de lámpara directa con su respectiva distribución del flujo luminoso.

Av. Che Guevara (LED 150W)

Resumen (hacia EN 13201:2015)

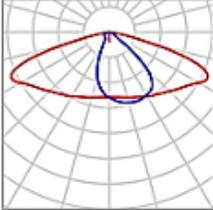
			
Fabricante	Opplé Lighting	P	150.0 W
Nº de artículo	543014021510	$\Phi_{\text{Luminaria}}$	21007 lm
Nombre del artículo	LED Streetlight-P2 150W-5700-GY-GP		
Lámpara	1x LED Streetlight-P2 150W-5700-GY-GP 543014021510		

Figura 4.8: Características de la luminaria LED 150W, Fuente[Autores.]

En la figura 4.6. se muestra las características de la instalación del poste y lámpara. Como es la altura de montaje, distancia entre lámparas, longitud y grado de inclinación del brazo etc.

En la figura 4.9. se muestra los parámetros simulados, se puede observar que si cumple con todos los parámetros establecidos por la regulación 006/20 ARCERNR.

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Camino peatonal 2 (P3)	E_m	9.81 lx	[7.50 - 11.25] lx	✓
	E_{min}	7.62 lx	≥ 1.50 lx	✓
Calzada 2 (M3)	$L_m^{(2)}$	1.07 cd/m ²	≥ 1.00 cd/m ²	✓
	$U_0^{(2)}$	0.65	≥ 0.40	✓
	$U^{(2)}$	0.77	≥ 0.60	✓
	$TI^{(2)}$	9 %	≤ 15 %	✓
	$R_{gl}^{(2)}$	1.04	≥ 0.30	✓
Calzada 1 (M3)	$L_m^{(2)}$	1.05 cd/m ²	≥ 1.00 cd/m ²	✓
	$U_0^{(2)}$	0.65	≥ 0.40	✓
	$U^{(2)}$	0.77	≥ 0.60	✓
	$TI^{(2)}$	9 %	≤ 15 %	✓
	$R_{gl}^{(2)}$	1.04	≥ 0.30	✓
Camino peatonal 1 (P3)	E_m	9.81 lx	[7.50 - 11.25] lx	✓
	E_{min}	7.62 lx	≥ 1.50 lx	✓

Figura 4.9: Resultados de la simulación con lámparas LED 150W, (Fuente:[Autores.])

Se desarrollaron las simulaciones del alumbrado público en los dos casos, el existente y el proyectado, del mismo modo se realizó para el resto de casos de avenidas y calles que no cumplen con los niveles de iluminación, a continuación se presenta un cuadro de resumen de los resultados obtenidos en la simulación vs lo medido, tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4: Resumen de resultados obtenidos en sus respectivas simulaciones, (Fuente:[Autores.]

Nº	Nombres	Parámetros	Simulado (lx)	Medido (lx)	Simulación parámetros cumple (SI-NO)
1	Av. Che Guevara	E min	7,62	7,11	si
		E prom	19,62	18	
2	Av. Rumiñahui	E min	17,08	16,32	si
		E prom	21,48	18	
3	Av. HRN Miguel	E min	12,28	11,3	si
		E prom	24,56	23	
4	Av. Ignacio Neira	E min	15,74	15,2	si
		E prom	30,94	23	
5	Av. Homero Castanier	E min	13,95	12,6	si
		E prom	27,9	18	
6	C. San Francisco	E min	6,62	8,23	si
		E prom	10,43	12	
7	C. Azuay	E min	7,73	6,53	si
		E prom	10,58	12	
8	C. Cacique Tenemaza	E min	6,12	5,87	si
		E prom	9,16	12	
9	C. Benigno Rivera	E min	6,60	6,22	si
		E prom	9,83	12	
10	C. Julio M Matovelle	E min	6,48	6,35	si
		E prom	9,51	12	
11	C. Simón Bolívar	E min	6,78	6,34	si
		E prom	11,24	12	
12	C. Benigno Malo	E min	6,44	6,11	si
		E prom	9,32	12	
13	C. Luis Ariosto Muños	E min	5,27	4,88	si
		E prom	7,78	12	
14	C. Imbabura	E min	6,85	6,33	si
		E prom	10,21	12	
15	C. Alberto Ochoa	E min	7,20	6,9	si
		E prom	10,36	12	
16	C. Paccha	E min	6,85	6,1	si
		E prom	10,21	12	
17	C. Adolfo Palomeque	E min	6,42	6,2	si
		E prom	10,11	12	
18	C. Chapera	E min	5,63	5,23	si
		E prom	8,34	12	

Tabla 4.5: Resumen de resultados obtenidos en sus respectivas simulaciones,,
(Fuente:[Autores.]

N°	Nombres	Parámetros	Simulado (lx)	Medido (lx)	Simulación parámetros cumple (SI-NO)
19	C. Carlos Dominguez	E min	6,04	5,78	si
		E prom	9,04	12	
20	C. Pizar Capac	E min	5,21	6,23	si
		E prom	8,88	12	
21	C. Los Laureles	E min	6,45	7,25	si
		E prom	9,63	12	
22	C. Emilio Reyes	E min	6,48	7,11	si
		E prom	9,67	12	
23	C. Biblian	E min	6,85	7,43	si
		E prom	10,21	12	
24	Oswaldo Guayasamin	E min	6,79	7,2	si
		E prom	10,08	12	
25	C. Tambo	E min	6,22	6,78	si
		E prom	9,52	12	
26	C. Estuardo Jara	E min	4,98	5,22	si
		E prom	7,90	12	
27	C. Cojitambo	E min	7,09	7,44	si
		E prom	10,15	12	
28	C. Esequiel Sigüenza	E min	6,46	6,78	si
		E prom	9,35	12	
29	C. Patricio Montero	E min	6,35	7,13	si
		E prom	9,25	12	
30	C. Emilio Izquierdo	E min	6,65	6,78	si
		E prom	9,87	12	

En la tablas 4.4 y 4.5 se puede apreciar que todas las avenidas y calles simuladas cumplen con todos los parámetros de la regulación 006/20 ARCERNNR, en comparación con los parámetros medidos los mismo que no cumplían con los parámetros que menciona dicha regulación 006/20 ARCERNNR, en resumen, únicamente se puso los valores de la iluminancia promedio y mínimo mantenido.

Para estas simulaciones se ocupó las luminarias LED de marca OPPLÉ de 80,150 y 180 W, pero en su mayoría se ocupó las lámparas de 150 W. verificando que en algunos casos no es necesario ubicar lámparas de mayor potencia, a lo contrario se debe implementar lámparas muy eficientes que tengan una grande distribución de flujo luminoso y que sea de tipo directa, ya que esta nos brinda mejores parámetros de eficiencia luminosa y cumpliendo con parámetros de la eficiencia energética.

4.8. DESARROLLO DEL PROGRAMA EN MATLAB

4.8.1. Cálculo computarizado de iluminancia.

Se utilizó la ecuación 4.1 para el cálculo de la iluminancia horizontal.

$$E_H = \frac{\sum I(z, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma \cdot \phi \cdot FD}{h^2} \quad (4.1)$$

E_H = Es la iluminancia en el plano medida en lx. Y a su vez esta sumatoria indica la contribución total de las lámparas.

$I(z, \gamma)$ = Es la intensidad en candelas por lúmenes producidas por la luminaria en la dirección del plano; es el ángulo que ocurre en el punto.

h = Es la altura de la luminaria en metros.

flujo = Es el flujo luminoso inicial de la lámpara.

FD = Es el factor de degradación.

4.8.2. Ubicación de los puntos para su cálculo.

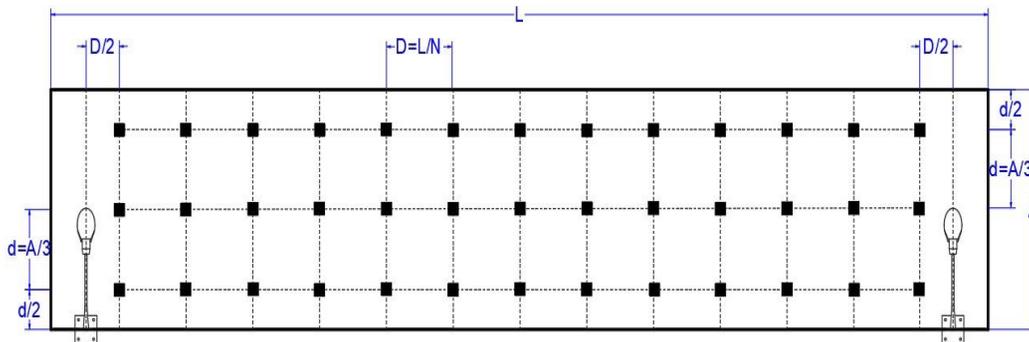


Figura 4.10: Superficie para su cálculo, Fuente[Autores.]

Dirección para su longitud:

Primero deberá ser definido el espacio a partir de la ecuación $D = L/N$, en donde:

D = Es el espacio entre la totalidad de los puntos, en la dirección de su longitud esto en metros.

L = Es el espacio definido entre las lámparas en metros.

N = Es el total de puntos para su cálculo en la dirección de su tramo con los siguientes valores:

Para el caso L menor o igual a 30 metros, el valor de $N = 10$.

Para el caso L mayor a 30 m, su entero debe ser un valor pequeño para que D sea a 3 metros.

Dirección colateral.

El espacio (d) en dirección colateral se define a partir de la ecuación $d = Wx/3$.

En donde:

d = Es el espacio de los puntos en su dirección colateral en metros.

Wx = Es el espacio de la amplitud o el área de la calzada en metros.

El espacio de los puntos de los extremos del área a aplicar sería $D/2$ en dirección de su longitud y $d/2$ en dirección colateral como se aprecia en la figura 4.10

Valor total de luminarias agregadas al cálculo. Para su diseño se considera las lámparas que estén dentro de una distancia cinco veces a la altura de la lámpara.

4.8.3. Iluminancia promedio.

Se presenta en la ecuación 4.2, la iluminancia promedio indica el valor medio calculado entre los n puntos tomados en consideración, desde el inicio hasta el final.

$$E_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} .E_i}{n} \quad (4.2)$$

4.8.4. Relación de luminancia.

Primero debe ser conocido las propiedades de reflexión para el cálculo de la luminaria de su área definida. Por tal motivo, se define una relación de reflexión Q, como la relación entre iluminancia y luminancia en un punto de un área de tal manera, que la ecuación quedaría definida por la ecuación 4.3:

$$Q = \frac{l}{EH} \quad (4.3)$$

Donde:

Q = es la relación de luminancia en un punto.

l = es la luminancia en un punto.

EH: = es la Iluminancia horizontal en el punto.

donde Q está en función de(carretera, α , β , γ , δ).

La relación de luminancia para una carretera está dada en función de la dirección que incide su intensidad luminosa, desde la dirección del observador y de la formación de sus cuatro ángulos (α , β , γ , δ).

como se aprecia en la figura 4,11.

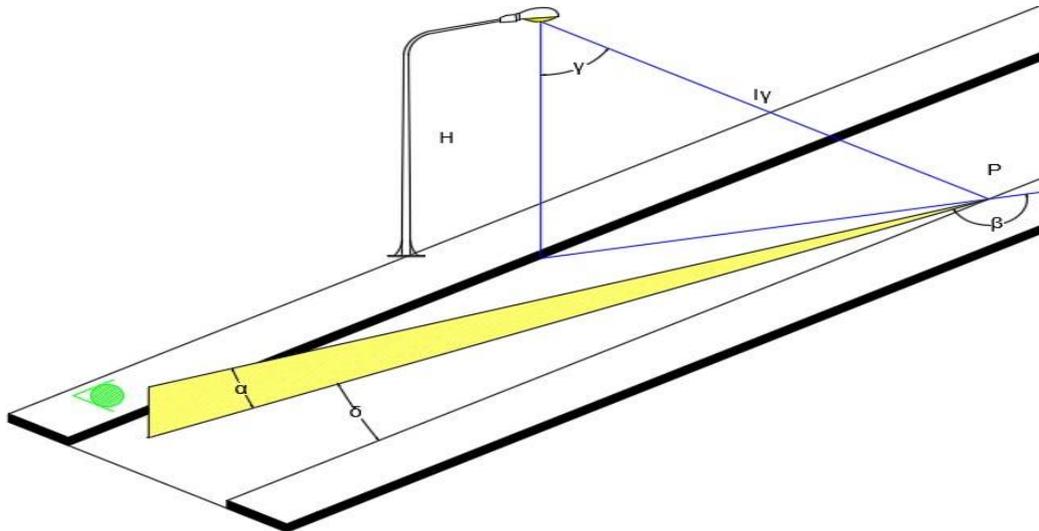


Figura 4.11: Variables a ser consideradas para el cálculo de la luminancia, Fuente[Autores.]

Para la superficie de la carretera a considerar un cable entre la longitud de 60 metros y 160 metros delante de él, α , varía entre $0,5^\circ$ y $1,5^\circ$. Dado que Q depende respecto a α , y este valor permanecería constante, la relación de luminancia es determinado con α esta se mantiene constante a 1° . Y su relación con el ángulo δ , que va entre 0° y 20° , no afecta en su cálculo y en la práctica se ignoraría.

La relación disminuida de luminancia k .- Las principales tablas que califican las propiedades reflectadas del área no se dan en términos de relación de luminancia Q sino de la relación disminuida de luminancia k . Estas tablas características se definen como Tablas P.

4.8.5. Clasificación de las áreas de las carreteras en estado estacionario.

Para realizar los cálculos del factor de luminancia, el efecto de selección del área de la carretera debe ser definida por tres parámetros que son los siguientes:

- El factor observar O1 es nombrado como la relación $k(0,2)/k(0,0)$.
- El factor observar O2 es nombrado como la relación $Q_0 / k(0,0)$.
- La relación equivalente de luminancia Q_0 .

$k(0,2)$ significa el coeficiente reducido de luminancia evaluado para $\beta = 0^\circ$ y $\tan \gamma = 2$

$k(0,0)$ significa el coeficiente reducido de luminancia evaluado para $\beta = 0^\circ$ y $\tan \gamma = 0$

Las carreteras se clasifican de acuerdo con todos los factores definidos con anterioridad y también posee cuatro carreteras del tipo.

Tabla 4.6: Lista de áreas según el factor O1, (Fuente:[Autores.])

Tipo	Cambio O1	O1	O2	Qo	Observación
R ₁	O1 menor 0,42	0,25	1,53	0,10	mas o menos difusa
R ₂	0,42 menor O1 menor 0,85	0,58	1,80	0,07	Difuso especular
R ₃	0,85 menor O1 menor 1,35	1,11	2,38	0,07	Ligeramente especular
R ₄	O1 mayor 1,35	1,55	3,03	0,08	Especular

Las áreas de la carretera que componen la misma clase se caracterizan por una misma Tabla P propio de su clase. Esto lleva a desarrollar que las tablas P funcionen como un comando mediante ello se llevaría a cabo sus cálculos de luminancia. Cuatro son las tablas P resumidas a continuación .

4.8.6. Parámetros de las tablas P.

Es el síntesis del análisis de mirador y las toma de mediciones en diferentes puntos y son aplicados de acuerdo con el tipo de superficie desarrollado en la figura 4.11.

$$Q_0 = 0,10, O1 = 0,25, O2 = 1,53$$

β tg γ	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655
0,25	619	619	619	619	610	610	610	610	610	610	610	610	610	601	601	601	601	601	601	601
0,5	539	539	539	539	539	539	539	521	521	521	521	503	503	503	503	503	503	503	503	503
0,75	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	395	386	371	371	371	371	371	386	395	395
1	341	341	341	341	323	323	305	296	287	287	278	269	269	269	269	269	269	278	278	278
1,25	269	269	269	260	251	242	224	207	198	189	189	180	180	180	180	180	189	198	207	224
1,5	224	224	224	215	198	180	171	162	153	148	144	144	139	139	139	144	148	153	162	180
1,75	189	189	189	171	153	139	130	121	117	112	108	103	99	99	103	108	112	121	130	139
2	162	162	157	135	117	108	99	94	90	85	85	83	84	84	86	90	94	99	103	111
2,5	121	121	117	95	79	66	60	57	54	52	51	50	51	52	54	58	61	65	69	75
3	94	94	86	66	49	41	38	36	34	33	32	31	31	33	35	38	40	43	47	51
3,5	81	80	66	46	33	28	25	23	22	22	21	21	22	22	24	27	29	31	34	38
4	71	69	55	32	23	20	18	16	15	14	14	14	15	17	19	20	22	23	25	27
4,5	63	59	43	24	17	14	13	12	12	11	11	11	12	13	14	14	16	17	19	21
5	57	52	36	19	14	12	10	9,0	9,0	8,8	8,7	8,7	9,0	10	11	13	14	15	16	16
5,5	51	47	31	15	11	9,0	8,1	7,8	7,7	7,7										
6	47	42	25	12	8,5	7,2	6,5	6,3	6,2											
6,5	43	38	22	10	6,7	5,8	5,2	5,0												
7	40	34	18	8,1	5,6	4,8	4,4	4,2												
7,5	37	31	15	6,9	4,7	4,0	3,8													
8	35	28	14	5,7	4,0	3,6	3,2													
8,5	33	25	12	4,8	3,6	3,1	2,9													
9	31	23	10	4,1	3,2	2,8														
9,5	30	22	9,0	3,7	2,8	2,5														
10	29	20	8,2	3,2	2,4	2,2														
10,5	28	18	7,3	3,0	2,2	1,9														
11	27	16	6,6	2,7	1,9	1,7														
11,5	26	15	6,1	2,4	1,7															
12	25	14	5,6	2,2	1,6															

Figura 4.12: Tabla P para el área estandarizada R1, (RETILAP, Bogota, 2010.)

$$Q_0 = 0,07, O_1 = 0,58, O_2 = 1,80$$

β tg γ	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390
0,25	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	379	368	357	357	346	346	346	335	335	335
0,5	411	411	411	411	403	403	384	379	370	346	325	303	281	281	271	271	271	260	260	260
0,75	379	379	379	369	357	346	325	303	281	260	238	216	206	206	206	206	206	206	206	206
1	335	335	335	325	292	291	260	238	216	195	173	152	152	152	152	152	141	141	141	141
1,25	303	303	292	271	238	206	184	152	130	119	108	100	103	106	108	108	114	114	119	119
1,5	271	271	260	227	179	152	141	119	108	93	80	76	76	80	84	87	89	91	93	95
1,75	249	238	227	195	152	124	106	91	78	67	61	52	54	58	63	67	69	71	73	74
2	227	216	195	152	117	95	80	67	61	52	45	40	41	45	49	52	54	56	57	58
2,5	195	190	146	110	74	58	48	40	35	30	27	24	26	28	30	33	35	38	40	41
3	160	155	115	67	43	33	26	21	18	17	16	16	17	17	18	21	22	24	26	27
3,5	146	131	87	41	25	18	15	13	12	11	11	11	11	11	12	14	15	17	18	21
4	132	113	67	27	15	12	10	9,4	8,7	8,2	7,9	7,6	7,9	8,7	9,6	11	12	13	15	17
4,5	118	95	50	20	12	8,9	7,4	6,6	6,3	6,1	5,7	5,6	5,8	6,3	7,1	8,4	10	12	13	14
5	106	81	38	14	8,2	6,3	5,4	5,0	4,8	4,7	4,5	4,4	4,8	5,2	6,2	7,4	8,5	9,5	10	11
5,5	96	69	29	11	6,3	5,1	4,4	4,1	3,9	3,8										
6	87	58	22	8,0	5,0	3,9	3,5	3,4	3,2											
6,5	78	50	17	6,1	3,8	3,1	2,8	2,7												
7	71	43	14	4,9	3,1	2,5	2,3	2,2												
7,5	67	38	12	4,1	2,6	2,1	1,9													
8	63	33	10	3,4	2,2	1,8	1,7													
8,5	58	28	8,7	2,9	1,9	1,6	1,5													
9	55	25	7,4	2,5	1,7	1,4														
9,5	52	23	6,5	2,2	1,5	1,3														
10	49	21	5,6	1,9	1,4	1,2														
10,5	47	18	5,0	1,7	1,3	1,2														
11	44	16	4,4	1,6	1,2	1,1														
11,5	42	14	4,0	1,5	1,1															
12	41	13	3,6	1,4	1,1															

Figura 4.13: Tabla P para el área estandarizada R2, (RETILAP, Bogota, 2010.)

$$Q_0 = 0,07, O_1 = 1,11, O_2 = 2,38$$

β tg γ	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294
0,25	326	326	321	317	312	308	308	303	298	294	280	271	262	258	253	249	244	240	240	240
0,5	344	344	339	339	326	317	308	298	289	276	262	235	217	204	199	199	199	199	194	194
0,75	357	353	353	339	321	303	285	267	244	222	204	176	158	149	149	149	145	136	136	140
1	362	362	352	326	276	249	226	204	181	158	140	118	104	100	100	100	100	100	100	100
1,25	357	357	348	298	244	208	176	154	136	118	104	83	73	70	71	74	77	77	77	78
1,5	353	348	326	267	217	176	145	117	100	86	78	72	60	57	58	60	60	61	62	62
1,75	339	335	303	231	172	127	104	89	79	70	62	51	45	44	45	46	45	45	46	47
2	326	321	280	190	136	100	82	71	62	54	48	39	34	34	34	35	36	36	37	38
2,5	289	280	222	127	86	65	54	44	38	34	25	23	22	23	24	24	24	24	25	25
3	253	235	163	85	53	38	31	25	23	20	18	15	15	14	15	15	16	16	17	17
3,5	217	194	122	60	35	25	22	19	16	15	13	9,9	9,0	9,0	9,9	11	11	12	12	13
4	190	163	90	43	26	20	16	14	12	9,9	9,0	7,4	7,0	7,1	7,5	8,3	8,7	9,0	9,0	9,9
4,5	163	136	73	31	20	15	12	9,9	9,0	8,3	7,7	5,4	4,8	4,9	5,4	6,1	7,0	7,7	8,3	8,5
5	145	109	60	24	16	12	9,0	8,2	7,7	6,8	6,1	4,3	3,2	3,3	3,7	4,3	5,2	6,5	6,9	7,1
5,5	127	94	47	18	14	9,9	7,7	6,9	6,1	5,7										
6	113	77	36	15	11	9,0	8,0	6,5	5,1	5,1										
6,5	104	68	30	11	8,3	6,4	5,1	4,3												
7	95	60	24	8,5	6,5	5,2	4,3	3,4												
7,5	87	53	21	7,1	5,3	4,4	3,6													
8	83	47	17	6,1	4,4	3,6	3,1													
8,5	78	42	15	5,2	3,7	3,1	2,6													
9	73	38	12	4,3	3,2	2,4														
9,5	69	34	9,9	3,8	3,5	2,2														
10	65	32	9,0	3,3	2,4	2,0														
10,5	62	29	8,0	3,0	2,1	1,9														
11	59	26	7,1	2,6	1,9	1,8														
11,5	56	24	6,3	2,4	1,8															
12	53	22	5,6	2,1	1,8															

Figura 4.14: Tabla P para el área estandarizada R3, (RETILAP, Bogota, 2010.)

$$Q_0 = 0,08, S_1 = 1,55, S_2 = 3,04$$

β tg γ	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264
0,25	297	317	317	317	317	310	304	290	284	277	271	244	231	224	224	218	218	211	211	211
0,5	330	343	343	343	330	310	297	284	277	264	251	218	198	185	178	172	172	165	165	165
0,75	376	383	370	350	330	304	277	251	231	211	198	165	139	132	132	125	125	125	119	119
1	396	396	396	330	290	251	218	198	185	165	145	112	86	86	86	86	86	87	87	87
1,25	403	409	370	310	251	211	178	152	132	115	103	77	66	65	65	63	65	66	67	68
1,5	409	396	356	284	218	172	139	115	100	88	79	61	50	50	50	50	52	55	55	55
1,75	409	396	343	251	178	139	108	88	75	66	59	44	37	37	37	38	40	41	42	45
2	409	383	317	224	145	106	86	71	59	53	45	33	29	29	29	30	32	33	34	37
2,5	396	356	264	152	100	73	55	45	37	32	28	21	20	20	20	21	22	24	25	26
3	370	304	211	95	63	44	30	25	21	17	16	13	12	12	13	13	15	16	17	19
3,5	343	271	165	63	40	26	19	15	13	12	11	9,8	9,1	8,8	8,8	9,4	11	12	13	15
4	317	238	132	45	24	16	13	11	9,6	9,0	8,4	7,5	7,4	7,4	7,5	7,9	8,6	9,4	11	12
4,5	297	211	106	33	17	11	9,2	7,9	7,3	6,6	6,3	6,1	6,1	6,2	6,5	6,7	7,1	7,7	8,7	9,6
5	277	185	79	24	13	8,3	7,0	6,3	5,7	5,1	5,0	5,0	5,1	5,4	5,5	5,8	6,1	6,3	6,9	7,7
5,5	257	161	59	19	9,9	7,1	5,7	5,0	4,6	4,2										
6	244	140	46	13	7,7	5,7	4,8	4,1	3,8											
6,5	231	122	37	11	5,9	4,6	3,7	3,2												
7	218	106	32	9,0	5,0	3,8	3,2	2,6												
7,5	205	94	26	7,5	4,4	3,3	2,8													
8	193	82	22	6,3	3,7	2,9	2,4													
8,5	184	74	19	5,3	3,2	2,5	2,1													
9	174	66	16	4,6	2,8	2,1														
9,5	169	59	13	4,1	2,5	2,0														
10	164	53	12	3,7	2,2	1,7														
10,5	158	49	11	3,3	2,1	1,7														
11	153	45	9,5	3,0	2,0	1,7														
11,5	149	41	8,4	2,6	1,7															
12	145	37	7,7	2,5	1,7															

Figura 4.15: Tabla P para el área estandarizada R4, (RETILAP, Bogota, 2010.)

4.8.7. Ubicación del observador para los puntos de cálculo.

El observador forma un ángulo desde la recta a 1° . En dirección diagonal al punto del observante en el punto central de cada vía y recto a 60 metros al irse al punto uno.

La Luminancia promedio (L_{prom}) y la uniformidad total de la lámpara (U_o), se calculan para el total de la vía, para cada posición del que va observar.

4.8.8. Equivalencia a lo largo de la luminancia (UL).

Este parámetro se calcula para cada línea central de cada carretera formado por un número de carriles de circulación. Los valores de L_{med} , U_o y UL se considera los más bajos en cada caso de estudio.

4.8.9. Cantidad de lámparas para su diseño.

Para cada punto de diseño, los cálculos deben tener en cuenta todas las luminarias que tienen un efecto en el mismo. Estas luminarias se ubican en la zona del plano P de $5H \times 17H$, y gracias a su simetría se pueden utilizar para cubrir la zona de $10H \times 17H$ (ver figura 4.16).

Por lo tanto, solo se tendrán en cuenta las lámparas colocadas a una altura que estén 5 veces la altura que este sobrepuesto desde el punto a calcular hacia el punto a observar, a 12 veces la altura que este sobrepuesto desde el punto a calcular hacia el punto a observar y 5 veces la altura que este sobrepuesto desde el punto a calcular hacia el punto a observar.

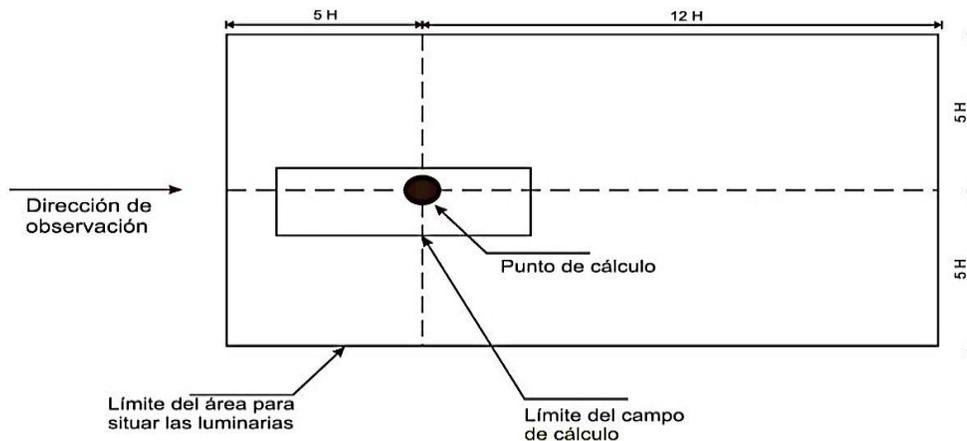


Figura 4.16: Lámparas que contribuyen a la luminancia para su cálculo en un punto definido,, (Fuente:[Autores.])

4.8.10. Características para la óptima calidad de luminancia.

Las particularidades de calidad deducidos con la luminancia se obtienen de la cuadrícula de luminancia calculada sin necesidad de una interpolación adicional.

Equivalencia global del alumbrado público: son los mismos puntos de cálculo que se utiliza para el cálculo del alumbrado público medio sobre la carretera.

Por lo tanto, la uniformidad de luminancia general se calcula a partir de la fórmula $U_o = l_{mn}/l_{med}$, donde :

l_{mn} : concuerda al punto con menor luminancia entre todos los puntos a calcular.

l_{med} : concuerda a la luminancia media en la carretera con su respectiva topología.

Equivalencia a lo largo de la luminancia: calculada como la relación entre la luminancia más baja y la más alta $U_l = l_{mn} / l_{mx}$ en la dirección a lo largo del eje de cada carril, incluido la orilla de la carretera en el caso de autopistas. El total de puntos en la dirección vertical y la distancia entre ellos deben ser los mismos que los utilizados para calcular su luminancia media. El punto del observante estará en el rango de 60 metros del punto uno y alineado con la fila del resto puntos.

4.9. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROGRAMA

Lo esencial en el programa fue cargar la gráfica polar del tipo de luminaria a utilizar como se aprecia en la figura 4.17, esta grafica se obtuvo a partir de las mediciones realizadas por el fabricante.

Podemos observar que para el caso de estudio y el tipo de lámpara que se eligió, la gráfica nos muestra cómo se va a distribuir el flujo luminoso, su distribución es de tipo directa posee una alta eficiencia energética, una distribución uniforme y concentrada.

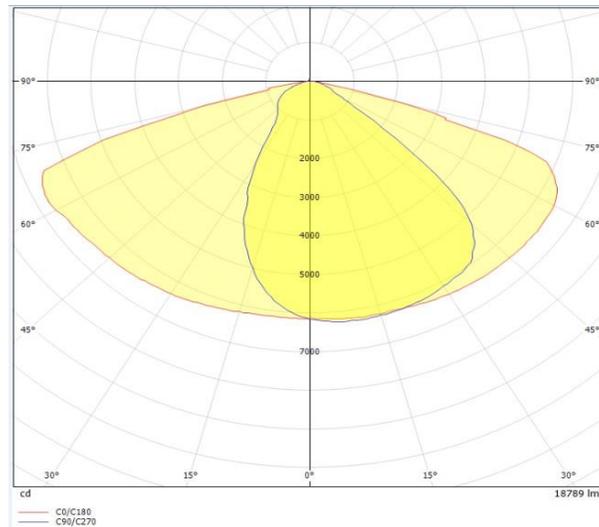


Figura 4.17: Diagrama polar de la luminaria LED, Fuente, (Fuente:[Autores.]

En la figura 4.18 se puede apreciar la interfaz gráfica del programa desarrollado, en donde se puede seleccionar el tipo de luminarias que se quiere analizar, tenemos cargado 5 tipos de luminarias.

Debemos ingresar los parámetros como son: longitud total de la vía, ancho de la calzada, número de carriles, la distancia del vano, altura de la lámpara, la distancia entre la calzada y la luminaria, clase de iluminación de la vía, tipo de superficie de la vía, su factor de mantenimiento, y la disposición de la luminaria puede ser unilateral, central doble, bilateral opuesta y bilateral alternada.

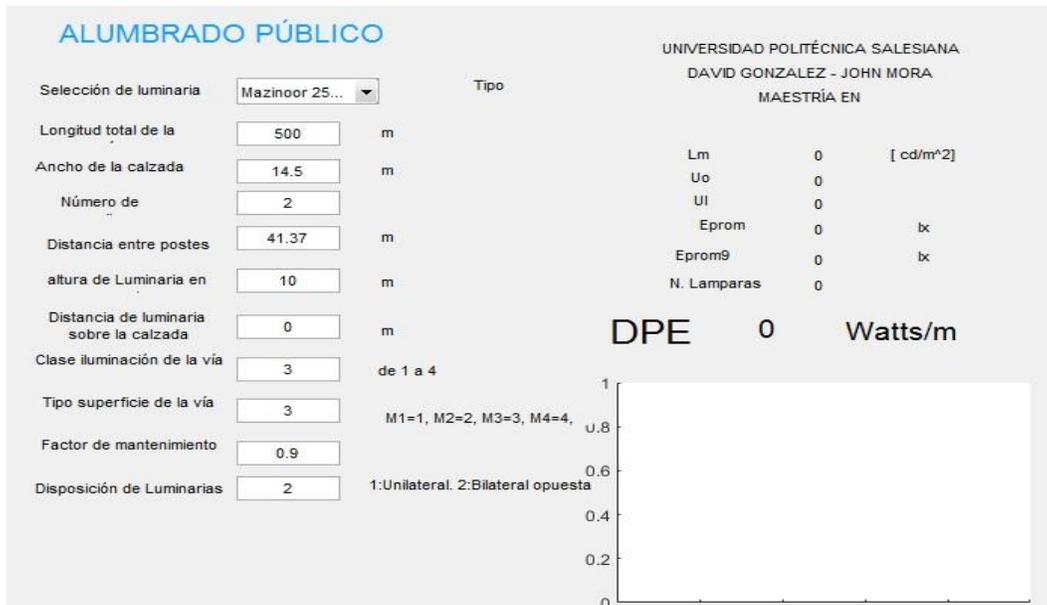


Figura 4.18: Interfaz gráfica del programa desarrollado, para poder ingresar los parámetros necesarios para su análisis, (Fuente:[Autores.]

Para nuestro caso de estudio se realizó de ejemplo la Av. Che Guevara, como se aprecia en la figura 4.19, se ingresó todos los parámetros necesarios para su análisis, se utilizó el tipo de luminaria de la marca OPPLÉ de 150 W de potencia, y se obtuvo los resultados que están colocado en la parte derecha de la gráfica, como también se encuentra graficada su diagrama polar.

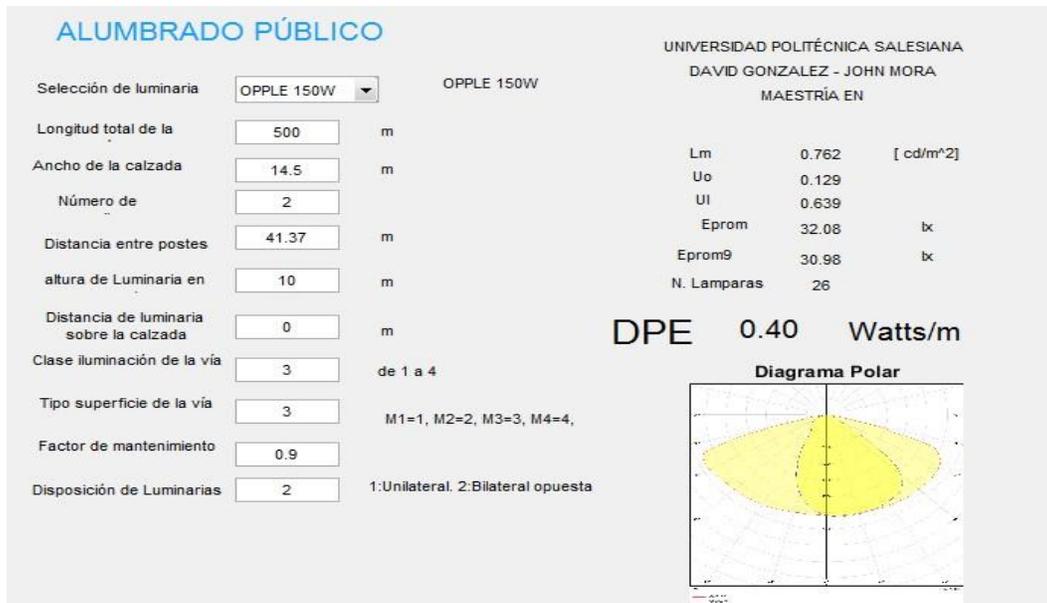


Figura 4.19: Interfaz gráfica del programa desarrollado,, (Fuente:[Autores.]

A partir del diagrama polar se obtuvo unas figuras interesantes para analizar visualmente, como se puede observar en las figuras 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23, cómo se distribuyen los vectores de intensidades luminosas y cómo se van distribuyendo los niveles de iluminación en 3D.

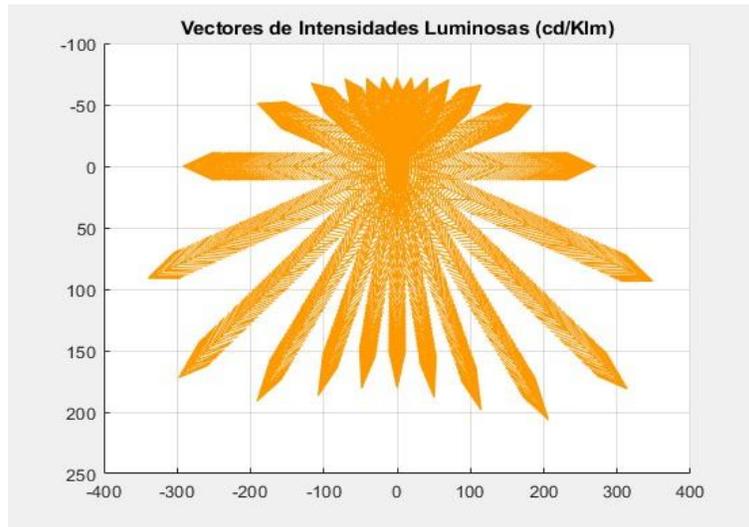


Figura 4.20: Vector de intensidad luminosa,, (Fuente:[Autores.]

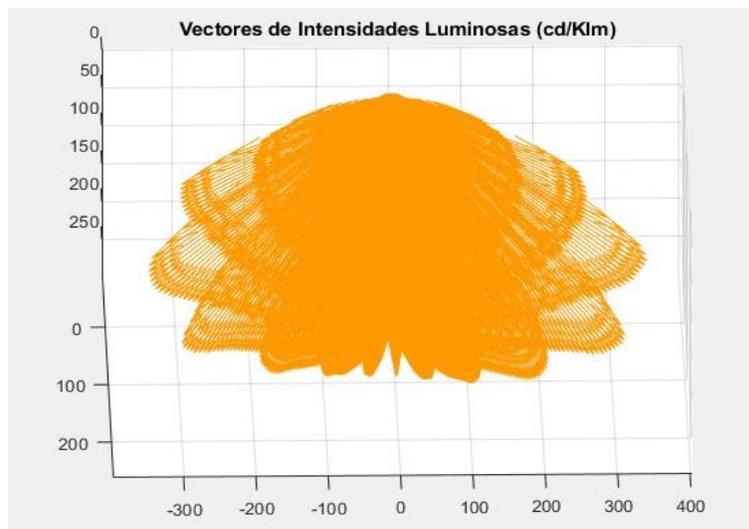


Figura 4.21: Vector de intensidad luminosa, , (Fuente:[Autores.]

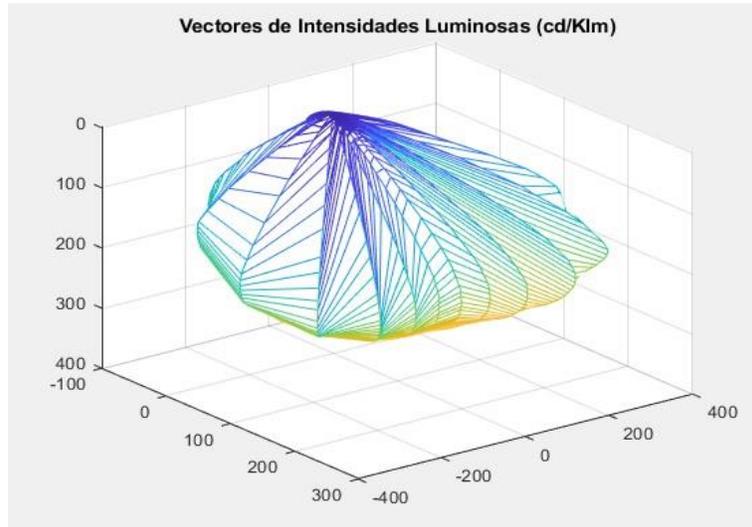


Figura 4.22: Vector de intensidad luminosa,, (Fuente:[Autores.])

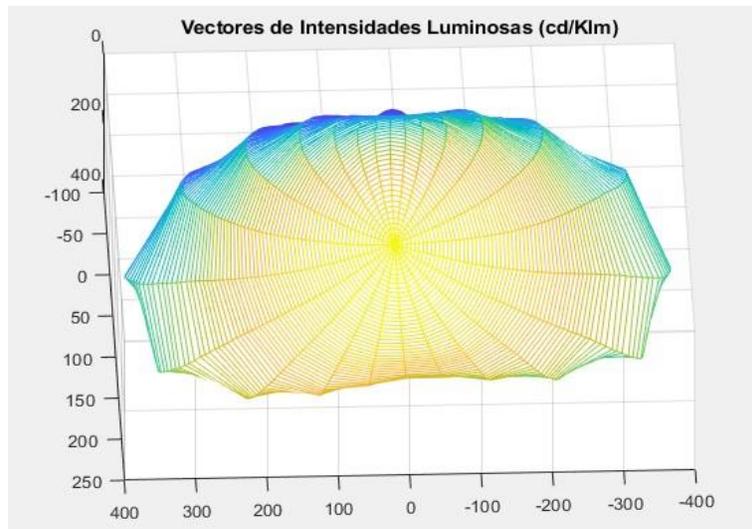


Figura 4.23: Vector de intensidad luminosa,, (Fuente:[Autores.])

En la figura 4.24 se aprecia como se crea las lámparas , asi como la distancia entre las mismas y el area a iluminar es una figura importante que se obtiene del programa.

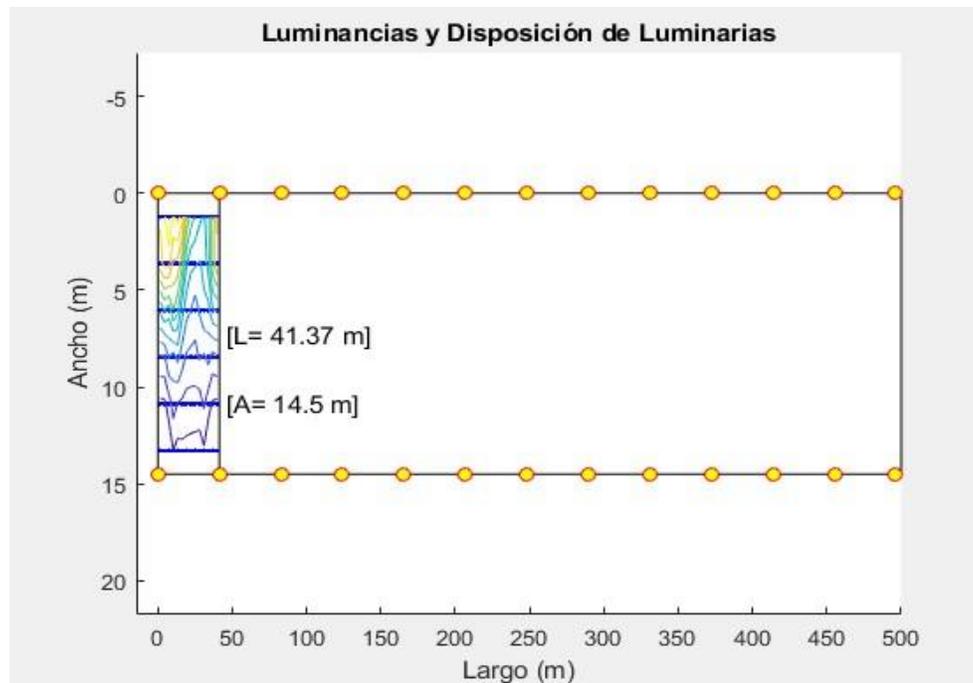


Figura 4.24: Luminancia y disposición de luminarias, , (Fuente:[Autores.])

Se puede apreciar en las figuras 4.25 y 4.26, los resultados obtenidos al simular la Av. Che Guevara, se realizó dos tipos de simulaciones la primera con las lámparas actuales que son de Sodio de 250 W de potencia y las proyectadas lámparas LED de 150 W de potencia.

También en las tablas 4.7 y 4.8 se detallan los valores obtenidos, los mismo que fueron comparados con los resultados simulados en Dialux Evo.

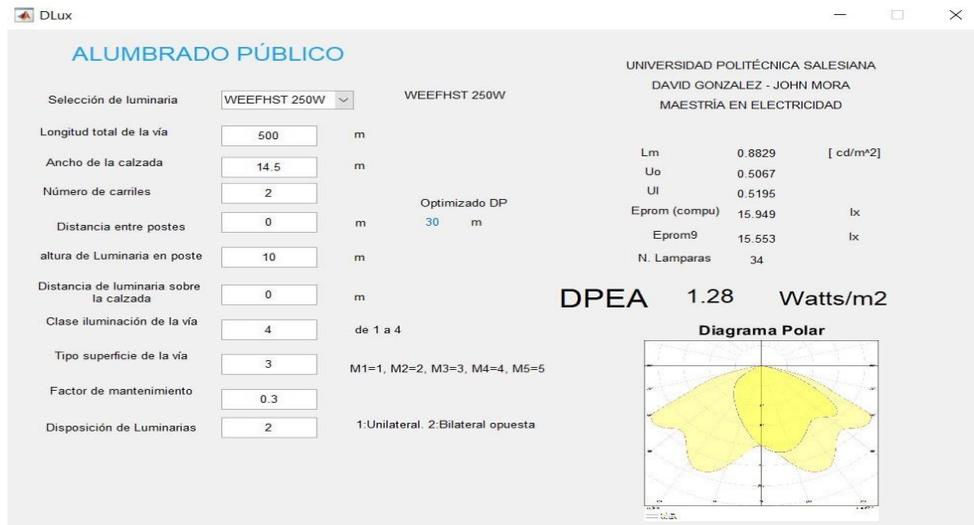


Figura 4.25: Resultados obtenidos en Matlab con lámpara de Sodio, (Fuente:[Autores.]

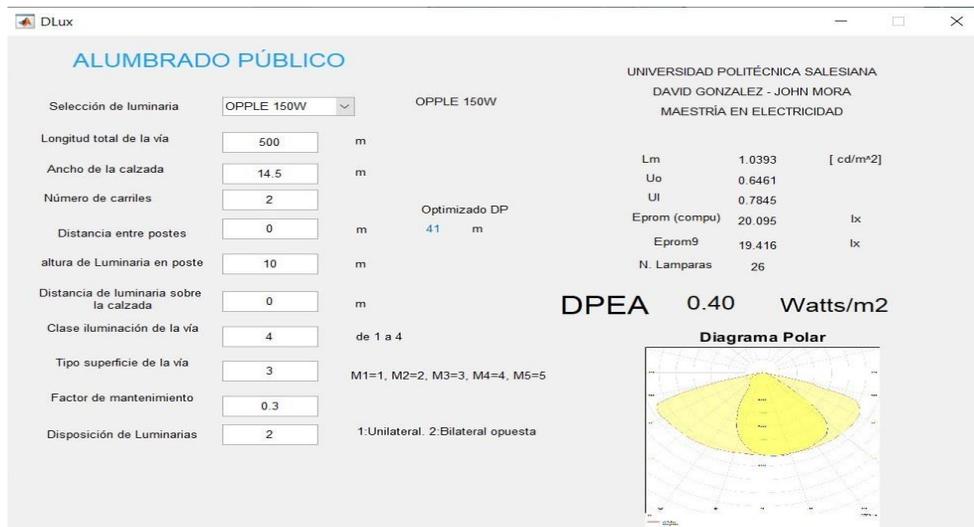


Figura 4.26: Resultados obtenidos en Matlab con lámpara LED, (Fuente:[Autores.]

En la tabla 4.7, se aprecian los resultados obtenidos en la simulación vs el programa desarrollado en Matlab, el mismo que nos permite apreciar los resultados para el caso de la lámpara de sodio. En ambos casos observamos que no cumplen con los parámetros fotométricos establecidos por la regulación descritas en el capítulo 1.

Tabla 4.7: Comparación de resultados simulados y del programa desarrollado en Matlab de la lámpara de Sodio, NO cumplen, (Fuente:[Autores.]

Resultados Av. Che Guevara	E_{min} (lx)	E_{prom} (lx)	L_m	U₀	U₁	Número Lamparas
Simulado en Dialux Evo	5.76	19.26	0.86	0.52	0.53	25
Programa en Matlab	5.55	15.553	0.8829	0.5067	0.5195	25

En la tabla 4.8, se aprecian los resultados obtenidos en la simulación vs el programa desarrollado en Matlab, el mismo que nos permite apreciar los resultados que para el caso de la lámpara LED. En ambos casos observamos que si cumple con los parámetros fotométricos establecidos por la regulación descritas en el capítulo 1.

Tabla 4.8: Comparación de resultados simulados y del programa desarrollado Matlab de la lámpara LED, SI cumplen, (Fuente:[Autores.]

Resultados Av. Che Guevara	E_{min} (lx)	E_{prom} (lx)	L_m	U₀	U₁	Número Lamparas
Simulado en Dialux Evo	9.81	19.62	1.07	0.66	0.77	19
Programa en Matlab	9.708	19.416	1.0393	0.6461	0.7845	19

El programa desarrollado tiene como principal cualidad la optimización del consumo de energía y costos de implementación considerando los valores admisibles de la regulación de la DPEA, en la que encaja la vía analizada. Por tal motivo se trabajó en la reducción de lámparas. Al realizar una comparación entre ambos tipos de lámparas podemos ver que el programa nos optimiza el número de lámparas, reduciendo de 34 lámparas de sodio a 26 lámparas LEDs,

de esta manera estamos reduciendo pérdidas, consumo de energía, ahorramos en el número de lámparas y ahorro en recursos energéticos.

El programa realizado en MATLAB, es una herramienta de mucha ayuda al momento de realizar un diseño para el sistema de alumbrado público, ya que, dependiendo del tipo de vía, tipo de superficie, área a iluminar, así como las luminarias, la altura y topología a ser implementadas, se optimiza el mínimo número de luminarias mediante la aplicación de la función 4.4.

$$\text{Optimizar: } DPEA(P, A) = \frac{P_i [W]}{A \text{ m}^2} \quad (4.4)$$

La cual está sujeta a los valores mínimos y máximos requeridos de la DPEA establecidos en la regulación ARCONEL que debe cumplir cada vía según el tipo de alumbrado a la que pertenezca, convirtiéndose en las restricciones para la optimización del SAP:

$$M2 \rightarrow 0,45 \leq DPEA \leq 1,33$$

$$M3 \rightarrow 0,32 \leq DPEA \leq 1,04$$

$$M4 \rightarrow 0,21 \leq DPEA \leq 0,74$$

$$\text{Donde: } P \geq 0 \text{ y } A \geq 0$$

Sujeto a:

$$\text{mínimo: } P = \sum_{i=1}^X P_i \quad (4.5)$$

Donde: n= número de lámparas/vía

El resultado final es un sistema de alumbrado público optimizado, el cual va a cumplir con los requisitos fotométricos para la correcta iluminación de la calzada en función de sus características constructivas y técnicas (datos de entrada), garantizando de esta manera un alumbrado público eficiente y de calidad con un correcto uso de la energía para el alumbrado público, como también una mejora en los recursos económicos para su futura implementación. El programa devuelve el indicador de eficiencia energética (DPEA), que normal-

mente no se obtiene en el programa de simulación Dialux. Nos proporciona figuras en 3D del diagrama polar de las luminarias que nos permite conocer la distribución del flujo luminoso de la vía o luminaria.

4.9.1. Resultados obtenidos de la optimización realizada en Matlab.

Como se describió en los párrafos anteriores, en el caso de estudio de la Av. Che Guevara (calle 1.) actualmente presenta en su alumbrado 25 luminarias de solio de 250W a lo largo de la vía, misma que, luego de las mediciones y simulaciones realizadas, no cumplen con los parámetros fotométricos establecidos por la regulación como se aprecia en la tabla 4.7. Aplicando la optimización de la misma Av. Che Guevara mediante el programa de Matlab y considerando una luminaria de tecnología LED de 150W se obtuvo 19 luminarias reduciendo en total 6 luminarias. Los parámetros fotométricos y el indicador de eficiencia energética DPEA, cumplen con la normativa (tabla 4.8) concluyendo que el programa optimiza el SEP como se aprecia en las tablas 4.9 y 4.10.

Tabla 4.9: Análisis de resultados comparando el estado actual (Luminaria Sodio) con la optimización (Luminaria LED) realizada con el programa en Matlab.

Calle	Tecnología de la luminaria	Número de Luminarias Instaladas	Nivel de potencia W	Potencia		
				total destinada para el AP W	Consumo en MWh/mes	\$ al mes
1.	Sodio	25	250	6250	2,25	207
	Led	19	150	2850	1,03	94,392
2.	Sodio	34	250	8500	3,06	281,52
	Led	26	150	3900	1,40	129,168
3.	Sodio	50	250	12500	4,50	414
	Led	41	150	6150	2,21	203,688
4.	Sodio	69	250	17250	6,21	571,32
	Led	58	150	8700	3,13	288,144
5.	Sodio	34	250	8500	3,06	281,52
	Led	25	150	3750	1,35	124,2
6.	Sodio	16	120	1920	0,69	63,5904
	Led	10	80	800	0,29	26,496
7.	Sodio	30	250	7500	2,70	248,4
	Led	21	150	3150	1,13	104,328
8.	Sodio	15	250	3750	1,35	124,2
	Led	9	150	1350	0,49	44,712
9.	Sodio	20	250	5000	1,80	165,6
	Led	12	150	1800	0,65	59,616
10.	Sodio	8	250	2000	0,72	66,24
	Led	6	150	900	0,32	29,808
11.	Sodio	52	250	13000	4,68	430,56
	Led	40	150	6000	2,16	198,72
12.	Sodio	16	250	4000	1,44	132,48
	Led	9	150	1350	0,49	44,712
13.	Sodio	7	250	1750	0,63	57,96
	Led	5	150	750	0,27	24,84
14.	Sodio	4	250	1000	0,36	33,12
	Led	3	150	450	0,16	14,904
15.	Sodio	7	250	1750	0,63	57,96
	Led	5	150	750	0,27	24,84
16.	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904

Tabla 4.10: Análisis de resultados comparando el estado actual (Luminaria Sodio) con la optimización (Luminaria LED) realizada con el programa en Matlab.

Calle	Tecnología de la luminaria	Número de Luminarias Instaladas	Nivel de potencia W	Potencia total destinada para el AP W	Consumo en MWh/mes	\$ al mes
17	Sodio	10	250	2500	0,90	82,8
	Led	8	150	1200	0,43	39,744
18	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904
19	Sodio	10	250	2500	0,90	82,8
	Led	7	150	1050	0,38	34,776
20	Sodio	2	250	500	0,18	16,56
	Led	2	150	300	0,11	9,936
21	Sodio	6	250	1500	0,54	49,68
	Led	4	150	600	0,22	19,872
22	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904
23	Sodio	4	250	1000	0,36	33,12
	Led	3	150	450	0,16	14,904
24	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904
25	Sodio	6	250	1500	0,54	49,68
	Led	5	150	750	0,27	24,84
26	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904
27	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904
28	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904
29	Sodio	2	250	500	0,18	16,56
	Led	2	150	300	0,11	9,936
30	Sodio	3	250	750	0,27	24,84
	Led	3	150	450	0,16	14,904

En las tablas 4.9 y 4.10 se muestran los resultados obtenidos de las 30 vías que no cumplían con los parámetros fotométricos e indicadores de eficiencia energética, se realizó el cambio de tecnología de sodio a led, teniendo de esta manera una reducción en el número de lámparas necesarias para cumplir con los parámetros fotométricos requeridos por la regulación ARCERNNR 006/20, dicha reducción de lámparas se ven reflejadas en el consumo de energía (disminución de potencia) y ahorro económico (disminución económica).

Tabla 4.11: Análisis de resultados comparando el estado actual (Luminaria Sodio) con la optimización (Luminaria LED) realizada con el programa en Matlab.

Tecnología de la luminaria	Potencia	Consumo en MWh/mes	\$ al mes
	total destinada para el AP W		
Sodio	110670	39,8412	3160,31091
Led	50900	18,324	1427,47226

Como se puede apreciar en la tabla 4.11, tenemos un cuadro resumen del cambio de tecnología utilizada, también la potencia total destinada al alumbrado público de las 30 vías analizadas, el consumo en MWh/mes y el costo de consumo de energía. Al realizar la optimización tenemos un ahorro de 1732,87 dólares al mes y también un ahorro de energía de 21,516 MWh/mes, de esta manera demostramos que se optimizaron recursos energéticos y económicos de la eficiencia energética en base a la regulación.

Conclusiones

ARCERRNR, es el agente regulador que vigila y dispone los parámetros que debe cumplir y en los cuales se debe prestar el servicio de alumbrado público general por parte de las empresas eléctricas distribuidoras las mismas que deben ser cumplidas por estas.

Los datos para calcular el coeficiente de eficiencia energética se obtuvieron a partir de los datos proporcionados por el geoportal de la EEA. Estos datos fueron validados con los resultados de mediciones realizadas en campo de vías seleccionadas al azar y que presentaron un error del 0.08 %.

En este trabajo se analizaron los parámetros fotométricos de iluminancia establecidos por la ARCERRNR y para el cálculo de la iluminancia promedio requerido por cada parámetro se utilizó el método de los 9 puntos.

De las 117 vías analizadas, el 74,36 % de las vías se encuentran dentro de los rangos admisibles de los parámetros fotométricos emitidos por la regulación, así como, cumplen con el indicador de eficiencia energética lo que indica que están correctamente iluminadas, mientras que, el resto de las vías, 30 específicamente, se encuentran mal iluminadas por no cumplir los rangos de la regulación e indicador. Sobre estas vías, se realizó la optimización con base a la ecuación de la DPEA que luego de ser ejecutadas dentro del programa obtuvimos una reducción de luminarias en referencia a las que se encuentran en la actualidad instaladas lo que refleja una menor inversión por parte de la empresa distribuidora, así como de consumo de energía destinada para el alumbrado público logrando de esta manera obtener una optimización en la eficiencia energética en el SAP.

Los parámetros fotométricos, así como, el coeficiente de eficiente energéti-

ca analizados en la vía con presencia de alumbrado LED respecto a la vía con alumbrado de sodio, presentan mejores resultados, porque posee menos pérdidas eléctricas en la parte de sus componentes, así como también no debe esperar un tiempo determinado para llegar a su punto óptimo de iluminación.

En nuestro país el sistema de alumbrado público está diseñado a la iluminación de la calzada para el tránsito vehicular y a su vez a las aceras para los peatones, con excepción de ciertos casos exclusivos como es el sistema de alumbrado ornamental, en la cual intervienen los dos sistemas de alumbrado antes mencionadas.

En la actualidad la implementación de las lámparas LED aplicadas al alumbrado público se está extendiendo en gran magnitud su uso, puesto que nos brinda muchos beneficios en parámetros de calidad y disminución de costos en el consumo, por lo cual se realizó las simulaciones de cambio de tecnología de las antiguas lámparas de sodio, a la nueva tecnología LED. Y en los resultados obtenidos se puede apreciar que los parámetros de calidad son mejorados con el cambio de tecnología en las lámparas.

Se debe tener presente las gráficas del diagrama polar de la lámpara brindadas por el fabricante al momento de elegir un tipo de lámpara para su simulación. Para nuestro caso de estudio se utilizó la lámpara con distribución directa puesto que posee una alta eficiencia energética, una distribución concentrada uniforme y un balance de claridad para el visualizador.

Para mejorar la gestión de la eficiencia energética, se debería cambiar las actuales lámparas de sodio con lámparas LED, adicionando a ello un sistema de telecontrol para las futuras instalaciones de alumbrado público, ya que con ese sistema tendríamos una actuación sobre el sistema de mando y la medida de consumo energético exacto en tiempo real, así reducimos tiempos de respuesta ante una falla ya que se trabajaría con una aplicación WEB, y sería más rápido su gestión. El tratamiento de la información sería inmediata, de esta manera se obtendría un sistema inteligente con un nivel alto de eficiente energética.

El programa realizado en Matlab, es una herramienta con la cual podemos realizar diseños de alumbrado público asegurando el cumplimiento de los parámetros fotométricos y del indicador de eficiencia energética, garantizando de

esta manera la optimización de energía y recursos en el SAPG.

Con la simulación realizada en Dialux se verifico los datos obtenidos en campo de las vías que no cumplen con los parámetros y se rediseño el SAP de la vía con las condiciones técnicas idóneas que cumplan con los parámetros fotométricos.

Para la optimización del SAP se realizó el programa en Matlab la cual, en base a tipo de luminaria a implementar para el alumbrado, el programa analiza cada uno de los parámetros fotométricos e indicador de eficiencia energética que debe cumplir la vía y obtenemos el número de luminarias, así como la distancia que debe ir una de otra, logrando de esta manera la optimización de recursos como de energía destinado a los SAP.

Las vías que no cumplen con la regulación como con el indicador se procedió a realizar la respectiva simulación en Dialux y los resultados se contrastó con los obtenidos en nuestro programa de optimización, en donde se pudo apreciar resultados idénticos al momento de la optimización.

El programa realizado en Matlab es utilizado actualmente por la jefatura de operación y mantenimiento del departamento técnico de la empresa eléctrica Azogues el cual es empleado para realizar los respectivos estudios para el diseño del SAP, para su respectiva construcción mediante el proceso de contratación pública denominado “SAPG CALIDAD – EXPANSION VARIOS SECTORES (2022)”.

Recomendaciones

El coeficiente de eficiencia energética empleado en este trabajo debería ser implementado como un parámetro más dentro de la regulación, aportando de esta manera a un consumo racional de energía y buen uso de los recursos de las empresas eléctricas distribuidoras.

Al momento de realizar las mediciones de iluminancia de cada calzada es preferible ejecutarlas en la madrugada, sin la presencia o intervención de una luz externa que no sea la de la luminaria, para que de esta manera obtener valores reales a la actualidad del sistema de alumbrado público.

Cuando se realiza el diseño para el sistema de alumbrado público, se debe considerar las zonas de conflicto proponiendo una reducción en el consumo energético y económico.

Algunas vías catalogadas como locales tienen un uso más de zona residencial, eso quiere decir que sirve de entrada a domicilios, estas vías están conformadas por extensiones de área pequeñas y sin retorno, por lo que, se podría mantener una iluminancia mínima requerida, cumpliendo de esa manera con los niveles establecidos por la regulación.

Algunas vías de estudio presentan una baja iluminación, una de las soluciones para este problema podría ser la sustitución de las luminarias actuales por unas de mayor potencia o incorporación de luminarias LED, en el caso que esto no funcione, se deberá realizar una consultoría para la correcta disposición y selección de luminarias, las cuales cumplirán con los parámetros fotométricos como el indicador de eficiencia energética, optimizando de esta manera los recursos de la empresa eléctrica distribuidora, tanto en el consumo de energía eléctrica destinado al alumbrado público, como económico en el suministro e

instalación de luminarias que no aporten a la iluminación de una calzada.

De igual forma existen vías que se encuentran sobre iluminadas, para mantener el indicador de eficiencia energética en los rangos admisibles se debe realizar un estudio del SAP de la vía en cuestión, y a partir de ahí disponer el retiro, reubicación o disminución de potencia de luminarias, garantizando de esta manera la optimización del sistema de alumbrado público.

La elaboración del programa en Matlab, termina siendo un instrumento que nos ayuda al diseño del sistema de alumbrado público, además de analizar los parámetros fotométricos establecidos por la regulación, incorpora en su análisis al coeficiente de eficiencia energética (DPEA), el cual nos indica, en función de la luminaria seleccionada para su instalación, el número exacto de luminarias a ser instaladas, para cubrir con los requerimientos de la regulación y del coeficiente y de esta manera optimizar recursos.

Bibliografía

S. -M. Digă, N. Digă and A. -D. Grigore, "Particularities of photometric calculation and non-sinusoidal operation regime of luminaires with high pressure sodium vapour lamps," 2018 Seventh Balkan Conference on Lighting (BalkanLight), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/BalkanLight.2018.8546954.

ARCERNNR, R. N. 006/20. Prestación del servicio de alumbrado público general.

Ceballos, L., Rivoira, J., Tonon, L. G., Berizzo, R. (2019). Energía fotovoltaica. Luminaria autónoma para alumbrado público. AJEA, (1).

Chej, M., Abdalahi, M. I. (2015). Eficiencia energética del sistema de alumbrado público del municipio de Moa (Doctoral dissertation, Departamento de Eléctrica).

E. d. E. d. B. S. E.S.P, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público 'RETILAP',» de RETILAP, Bogota, 2010.

Cóndor Piarpuezán, J. B. (2018). Selección y dimensionamiento óptimo de los sistemas de alumbrado público basado en múltiples criterios (Bachelor's thesis).

Electricidad, A. (2016). Estadística anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano.

Energía, M. D. M. Y. (2010). Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público.

Franco, C., Israel, L., Guayllazaca, P., Francisco, A. (2017). Gestión de man-

tenimiento para el alumbrado público del centro urbano de la ciudad Cuenca (Bachelor's thesis).

García Gil, M. (2016). Compararse para mejorar: los círculos de comparación intermunicipal de eficiencia energética en alumbrado público. Resultados para la provincia de Barcelona. *Luces CEI*, (57).

C. Casagrande, F. Nogueira, M. Salmento and H. Braga, "Efficiency in Street Lighting Projects by Employing LED Luminaires and Mesopic Photometry," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 06, pp. 921-929, June 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8896814.

I. Ciobanu and R. D. Pentiuc, "Analysis on the possibility of using retrofit solutions for increasing the energy efficiency of public lighting systems," 2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICATE.2016.7754632.

Herrera-Galán, M., Duany-Alfonzo, Y. (2016). Metodología e implementación de un programa de gestión de mantenimiento. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 2-13.

Hijar, L., Hermes, J. (2018). Análisis, diseño y selección de alternativas de iluminación para alumbrado público con nuevas tecnologías.

Ixtaina, P., Bannert, B., Gallardo, A. (2016). Efectos de la iluminación led en el coeficiente de luminancia. In XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA.

Ixtaina, P., Bannert, B., Gallardo, A. (2016). Efectos de la iluminación led en el coeficiente de luminancia. In XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA.

Molina, J. J. B., Arévalo, C. E. M. (2013). Niveles de iluminación y su relación con los posibles efectos visuales en los empleados de una IPS de Bogotá. *Movimiento Científico*, 7(1), 31-37.

Ochoa, C. (2015). Muestreo no probabilístico: muestreo por conveniencia. Recuperado de <http://www.netquest.com/blog/es/muestreopor-convenien->

cia.

Puell Marín, M. C. (2020). Umbral de luminancia diferencial y adaptación a la luz.

PDOT-GAD Municipal Azogues, GAD Azogues, 2019.

A. Pellegrino, V. R. M. Lo Verso, L. Blaso, A. Acquaviva, E. Patti and A. Osello, "Lighting control and monitoring for energy efficiency: A case study focused on the interoperability of building management systems," 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2015, pp. 748-753, doi: 10.1109/EEEIC.2015.7165258.

Ramírez, A. C., Duque, F. V., Velásquez, J. A. V. (2014). Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. *Tecnura*, 18(39), 77-93.

Rivera Jiménez, L. A., Ruíz Martínez, J. C., Díaz Cortés, A. (2020). Propuesta de rediseño del suministro eléctrico para el sistema de iluminación de un taller mecánico utilizando energía fotovoltaica.

A. M. E. Pereira, V. A. Teixeira, M. Z. Fortes, A. P. Fragoso and G. M. Tavares, "Some considerations about LED technology in public lighting," 2015 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2015, pp. 561-565, doi: 10.1109/Chilecon.2015.7400433.

M. T. Valdez, C. M. Ferreira and F. P. M. Barbosa, "Electrical engineering course using PBL — The lighting of historical buildings," 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2018, pp. 345-349, doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363249.