

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

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

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE GENERAL:
**“ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL
ALUMBRADO PÚBLICO DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE
AZOGUES”**

AUTORES:

EDWIN DAVID GONZÁLEZ URGILÉS

RICARDO RAFAEL PEÑAFIEL CAMPOVERDE

TUTOR:

ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Edwin David González Urgilés con documento de identificación N° 0302616636 y Ricardo Rafael Peñafiel Campoverde con documento de identificación N° 0301938973, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES**”, mismo que se ha desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico* en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020



Edwin David González Urgilés
C.I. 0302616636



Ricardo Rafael Peñafiel Campoverde
C.I. 0301938973

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES**”, realizado por Edwin David González Urgilés y Ricardo Rafael Peñafiel Campoverde, obteniendo el *Proyecto Técnico de Enfoque General* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, junio del 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Freddy Fernando Campoverde Armijos', with a large circular flourish at the end.

Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos
C.I. 0102339470

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Edwin David González Urgilés con documento de identificación N° 0302616636 y Ricardo Rafael Peñafiel Campoverde con documento de identificación N° 0301938973, autores del trabajo de titulación: “**ANÁLISIS DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES**”, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico de Enfoque General* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, junio del 2020



González Urgilés Edwin David
C.I. 0302616636



Peñafiel Campoverde Ricardo Rafael
C.I. 0301938973

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico primeramente a Dios que me ha dado la sabiduría para llevarlo a cabo, después a mis padres Mayra y Edwin que fueron y serán el pilar fundamental, que con sus consejos, apoyo y paciencia hemos logrado alcanzar esta meta.

De igual manera a mi hermano Ramsés que ha sido un compañero, amigo a lo largo de esta etapa y a quien deseo éxitos y lo mejor en su vida; a mis abuelitos Juan y Ermelinda que me han apoyado de una u otra manera y a todos mis familiares, amigos, compañeros que estuvieron a lo largo de este camino.

Edwin David González Urgilés

Este trabajo de titulación va dedicado de manera especial a mis padres José y María que han sido el pilar fundamental en mi educación que con sus esfuerzos y enseñanzas han logrado hacer de mí una persona de bien y un profesional para la sociedad, a mi esposa Marcia que siempre me ha brindado su apoyo y comprensión en todo momento, también a toda mi familia que siempre con su cariño y ánimos me han apoyado para alcanzar la meta.

Ricardo Rafael Peñafiel Campoverde

AGRADECIMIENTOS

Primero Agradezco a Dios por permitirme culminar una etapa en mi vida, a mis padres, Mayra y Edwin por su apoyo incondicional, esfuerzo, motivación, y ejemplo de superación a lo largo de toda mi vida; a mi hermano Ramsés por ser un amigo, por su comprensión y apoyo que me ha dado. Agradezco a mis abuelos que siempre han estado pendientes de mí, a mis tíos y tías porque de alguna u otra forma me han sabido dar un consejo o apoyo. A mis docentes, amigos, compañeros, que fueron parte de esta etapa.

Y de manera especial agradezco al Ing. Freddy Campoverde por su guía, paciencia y apoyo profesional para la realización de este trabajo. De igual manera a mi compañero Ricardo quien me ayudo en el desarrollo de este trabajo de titulación.

Edwin David González Urgilés

Mis agradecimientos primeramente a Dios, que es el que siempre me guía y me protege, luego a mis padres que han sido los que me han apoyado en todo momento a lo largo de mis estudios hasta alcanzar esta meta en mi vida, y en general a toda mi familia que de una u otra manera me han apoyado y dado las fuerzas y las ganas de seguir adelante, un agradecimiento especial a mi esposa Marcia que me ha brindado todo su apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera.

Agradezco a mis compañeros de manera especial a David por haberme apoyado y compartido conocimientos para el desarrollo exitoso de este trabajo.

Ricardo Rafael Peñafiel Campoverde

RESUMEN

Las Empresas Eléctricas distribuidoras son las encargadas de prestar el servicio de alumbrado público a toda la concesión que le pertenece, dicho servicio debe ser de calidad y eficiencia, para cumplir esto; hay ciertos parámetros fotométricos que deben cumplir los sistemas de alumbrado público. El objetivo principal del estudio fue determinar si la densidad de potencia eléctrica del alumbrado público en el casco urbano de la ciudad de Azogues cumple con las normas y regulaciones pertinentes. En este sentido, en la ciudad de Azogues la Empresa Eléctrica distribuidora encargada de prestar el servicio de alumbrado público es la Empresa Eléctrica Azogues (EEA), la misma que para garantizar un servicio de calidad y de eficiencia, requiere realizar un estudio para ver el estado en el que se encuentra el sistema de alumbrado público del casco urbano de la ciudad, por lo tanto, el presente proyecto consiste en identificar las vías que se encuentren dentro de los rangos permitidos de iluminación y posteriormente plantear soluciones o alternativas para mejorar la iluminación de las vías que no lo cumplan, haciendo que el sistema de alumbrado de la ciudad de Azogues sea racional y con eficiencia energética.

Palabras clave: Densidad De Potencia Eléctrica, Alumbrado Público, Casco Urbano, Empresa Eléctrica, Azogues.

ABSTRACT

The electricity distribution companies are responsible for providing the public lighting service to the entire concession that belongs to it, said service must be of quality and efficiency, to accomplish this; There are certain photometric parameters that must be met by public lighting systems. The main objective of the study was to determine if the electric power density of public lighting in the urban area of the city of Azogues complies with the relevant norms and regulations. In this sense, in the city of Azogues the electric company is the distributor responsible for providing the public lighting service is the Azogues Electric Company (EEA), the same as to guarantee a quality and efficiency service, it requires a study to See the state in which the public lighting system of the urban area of the city is located, therefore, the present project consists of identifying the roads that are within the permitted ranges of lighting and then proposing solutions or alternatives to improve the lighting of the roads that do not comply, making the lighting system of the city of Azogues rational and energy efficient.

Keywords: Electric Power Density, Public Lighting, Urban Area, Electric Company, Azogues.

Índice

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | vii |
| ABSTRACT | viii |
| CAPITULO I..... | 1 |
| SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO | 1 |
| 1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO | 1 |
| 1.1.1. Alumbrado Público General..... | 1 |
| 1.1.2. Alumbrado Público intervenido | 2 |
| 1.1.3. Alumbrado Público ornamental | 2 |
| 1.2. TIPOS DE DISPOSICIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO VIAL..... | 2 |
| 1.3. FACTORES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO | 3 |
| 1.3.1. Complejidad y la velocidad de la vía | 3 |
| 1.3.2. Control de tráfico | 3 |
| 1.3.3. Separación vial..... | 3 |
| 1.3.4. Tipos de usuarios de la vía..... | 3 |
| 1.4. REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO..... | 4 |
| 1.5. PARAMETROS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO. | 5 |
| 1.5.1. Parámetros Fotométricos..... | 5 |
| 1.5.1.1. Luminancia promedio de la calzada | 5 |
| 1.5.1.2. Uniformidad general de luminancia de la calzada..... | 5 |
| 1.5.1.3. Uniformidad longitudinal sobre la calzada..... | 5 |
| 1.5.1.4. Deslumbramiento | 6 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.5.1.5. | Relación de alrededores..... | 6 |
| 1.5.2. | VÍAS PARA TRÁFICO MOTORIZADO | 7 |
| 1.5.2.1. | Clase de iluminación según el tipo de vías..... | 9 |
| 1.5.2.2. | Parámetros fotométricos..... | 10 |
| 1.5.2.3. | Valores mínimos de iluminancia..... | 11 |
| 1.5.3. | VÍAS PEATONALES | 13 |
| 1.5.3.1. | Clase de iluminación según el tipo de vía..... | 13 |
| 1.5.3.2. | Parámetros fotométricos para tráfico peatonal y tráfico de baja velocidad | 14 |
| 1.5.4. | SISTEMAS ESPECIALES DE ILUMINACIÓN..... | 14 |
| 1.5.4.1. | Zonas de Conflicto..... | 14 |
| 1.5.4.2. | Parámetros fotométricos para zonas en conflicto..... | 16 |
| 1.6. | UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS EN ILUMINACION VIAL | 17 |
| 1.6.1. | Zonas especiales para la implementación de luminarias..... | 18 |
| 1.7. | EFICIENCIA ENERGETICA EN SISTEMAS DE ALUMBRADO PUBLICO | 19 |
| 1.7.1. | Eficiencia Energética en el uso de Alumbrado público..... | 20 |
| 1.7.2. | Eficiencia energética en el mantenimiento de alumbrado público..... | 21 |
| 1.7.3. | Gestión del mantenimiento..... | 22 |
| 1.7.3.1. | Mantenimiento preventivo:..... | 23 |
| 1.7.3.2. | Mantenimiento correctivo:..... | 23 |
| 1.7.4. | Eficiencia de Luminarias de Alumbrado Publico..... | 24 |
| 1.8. | TECNOLOGIAS MODERNAS PARA ALUMBRADO PUBLICO | 25 |
| 1.8.1. | Luminarias led fotovoltaicas integradas..... | 25 |
| 1.8.2. | Elementos de una instalación Solar Fotovoltaica..... | 26 |
| 1.8.2.1. | Paneles Solares | 26 |

| | |
|--|----|
| 1.8.2.2. Regulador..... | 26 |
| 1.8.2.3. Batería..... | 26 |
| 1.8.3. Desventajas de las luminarias Led fotovoltaicas integradas | 27 |
| 1.9. ALUMBRADO PÚBLICO INTELIGENTE | 27 |
| 1.10. MÁXIMA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO. | 28 |
| 1.10.1. Método de cálculo | 28 |
| 1.11. NORMAS PARA DISEÑO Y SERVICIO DE ALUMBRADO PUBLICO | 31 |
| 1.11.1. REGULACIÓN Nro. ARCONEL 006/18: PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL | 31 |
| 1.11.2. Obligaciones de las Empresas Distribuidoras..... | 32 |
| 1.11.3. Obligaciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD). 34 | |
| 1.12. SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL EN EL ECUADOR... 35 | |
| 1.12.1. Tipos de luminarias utilizadas en el Alumbrado público del Ecuador..... | 37 |
| 1.13. SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL EN LA ZONA URBANA DE AZOGUES | 38 |
| 1.13.1. Tipos de luminarias utilizadas en el Alumbrado Público..... | 38 |
| Tipos de luminarias utilizadas en el Alumbrado público..... | 38 |
| 1.13.2. Calidad de Servicio de Alumbrado Público | 40 |
| 1.13.3. Tasa de falla | 40 |
| 1.13.4. Reposición del Servicio en Luminarias..... | 41 |
| CAPITULO 2 | 42 |
| DETERMINACIÓN DE LA DPEA | 42 |
| 2.1. CÁLCULO DE LA DPEA..... | 42 |
| 2.1.1. Consideraciones para el cálculo de la DPEA..... | 42 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2. Metodología. | 43 |
| 2.1.2.1. Cálculo de área de las vías del casco urbano de la ciudad de Azogues. . | 43 |
| 2.1.3. Cálculo de la potencia de luminarias..... | 47 |
| 2.1.4. Cálculo de la DPEA. | 49 |
| 2.1.4.1. Error en las mediciones de la longitud vial y ancho de la calzada. | 50 |
| CAPÍTULO 3 | 51 |
| 3.1. NIVEL DE ILUMINANCIA PROMEDIO..... | 51 |
| 3.1.1. Métodos de Cálculo de iluminancia promedio de una vía. | 51 |
| 3.2. MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS. | 52 |
| 3.3. MÉTODO CÁLCULO COMPUTARIZADO DE ILUMINANCIA. | 55 |
| 3.3.1. MEDICIÓN DE ILUMINANCIA DE LUMINARIA LED. | 57 |
| 3.3.2. MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS. | 58 |
| 3.3.3. MÉTODO DE MALLA. | 62 |
| 3.4. MEDICIÓN DE ILUMINANCIA DE LUMINARIA DE SODIO CERRADA (NA). 66 | |
| 3.4.1. MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS. | 68 |
| 3.4.2. MÉTODO DE MALLA. | 70 |
| 3.5. Comparación de la DPEA entre luminarias de sodio y Led..... | 74 |
| 3.6. Cálculo del coeficiente de uniformidad general de iluminancia. | 75 |
| 3.7. Cálculo del valor de relación de alrededores SR..... | 77 |
| 3.7. Definición de luminancia..... | 81 |
| 3.7.1. Coeficiente de luminancia (q)..... | 82 |
| 3.7.2. Coeficiente reducido de luminancia -r- | 84 |
| 3.8. Jerarquía vial de la ciudad de Azogues | 84 |
| 3.9. Clases de iluminación. (RETILAP) | 90 |

| | |
|---|-----|
| 3.10 Clases de iluminación para la jerarquía vial de la ciudad de Azogues. | 91 |
| 3.11. Valores de Iluminancia promedio (REEAE)..... | 94 |
| 3.12. DPEA MÍNIMA..... | 95 |
| 3.13. ANÁLISIS DE LA DPEA E ILUMINANCIA..... | 96 |
| 3.13.1 ANÁLISIS DE LA DPEA E ILUMINANCIA..... | 100 |
| CAPITULO 4..... | 102 |
| Conclusiones y recomendaciones..... | 102 |
| 4.1. Conclusiones..... | 102 |
| 4.2. Recomendaciones | 104 |
| Bibliografía..... | 107 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Clases de alumbrado para diferentes tipos de vías públicas | 7 |
| Tabla 2. Variación de las clases de alumbrado para diferentes tipos de vías públicas | 8 |
| Tabla 3. Parámetros para selección de la clase de iluminación (M) | 9 |
| Tabla 4. Luminancia de calzada para tráfico vehicular..... | 11 |
| Tabla 5. Valores mínimos de luminancia promedio (lx) requerida en vías motorizadas que se debe mantener | 12 |
| Tabla 6. Características de la superficie..... | 12 |
| Tabla 7. Clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas..... | 13 |
| Tabla 8. Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal y tráfico de baja velocidad. | 14 |
| Tabla 9. Parámetros para la selección de la clase de iluminación C. | 15 |
| Tabla 10. Parámetros fotométricos para zonas de conflicto..... | 16 |
| Tabla 11. Recomendaciones para disposición de luminarias..... | 18 |
| Tabla 12. Comparación de eficiencia entre lámparas Led y de Vapor de Sodio. | 25 |
| Tabla 13. Valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) para vías vehiculares (W/m ²)..... | 29 |
| Tabla 14. Facturación de energía eléctrica por las distribuidoras en GWh por grupo de consumo de 2014 a 2018..... | 35 |
| Tabla 15. Facturación de energía eléctrica por las distribuidoras en MUSD por grupo de consumo de 2014 a 2018..... | 36 |
| Tabla 16. Tipos de Luminarias más utilizadas en Alumbrado Público en Ecuador..... | 37 |
| Tabla 17. Cantidad de Luminarias y Potencia para cada año..... | 39 |
| Tabla 19. Valores obtenidos de la DPEA de la Av. HNO. Miguel. | 50 |
| Tabla 20. Contraste de valores entre los del Geo portal y del campo..... | 50 |
| Tabla 21. Datos de la vía seleccionada. | 58 |
| Tabla 22. Medidas del rectángulo para ubicar los puntos de medición de iluminancia...60 | |
| Tabla 23. Valores obtenidos de iluminancia. | 61 |
| Tabla 24. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Tabla 25. Medidas longitudinales para la malla..... | 62 |
| Tabla 26. Medidas transversales para la malla..... | 63 |
| Tabla 27. Valores obtenidos de iluminancia. | 64 |
| Tabla 28. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía..... | 66 |
| Tabla 29. Datos de la vía seleccionada. | 66 |
| Tabla 30. Medidas del rectángulo para tomar las mediciones de iluminancia..... | 69 |
| Tabla 31. Valores obtenidos de iluminancia. | 70 |
| Tabla 32. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía..... | 70 |
| Tabla 33. Medidas longitudinales para la malla..... | 71 |
| Tabla 34. Medidas transversales para la malla..... | 71 |
| Tabla 35. Valores obtenidos de iluminancia. | 73 |
| Tabla 36. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía..... | 74 |
| Tabla 37. Comparación de resultados de la iluminancia promedio obtenido de las dos vías seleccionadas..... | 75 |
| Tabla 38. Valor de uniformidad obtenidos de las vías seleccionadas. | 76 |
| Tabla 39. Valor de iluminancia C. Oriente Tabla 40. Valore de iluminancia Av. Miguel. | 80 |
| Tabla 41. Valore de iluminancia C. Oriente. Tabla 42. Valore de iluminancia Av. Miguel. | 80 |
| Tabla 43. Relación de alrededores obtenido de las vías comparadas con las del reglamento. | 81 |
| Tabla 44. Listado de vías secundario urbano | 86 |
| Tabla 45. Listado de vías colectoras. | 87 |
| Tabla 46. Listado de vías locales. | 88 |
| Tabla 47. Clases de iluminación para las diferentes vías..... | 91 |
| Tabla 48. Clases de iluminación para las diferentes jerarquías viales de Azogues. | 92 |
| Tabla 49. Cantidad de vías a las que pertenece según su jerarquía y clase de iluminación. | 92 |
| Tabla 50. Valores de luminancia e Iluminancia según la clase de iluminación. | 94 |
| Tabla 51. Valores de iluminancia promedio y reales obtenidos. | 95 |
| Tabla 52. Valores de la DPEA mínimos según la clase de iluminación. | 96 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 53. Comparación de la DPEA cálculo con respecto a la tabla del reglamento. | 97 |
| Tabla 54. Datos obtenidos de las vías secundarias que están dentro de rango y las que no. | 98 |
| Tabla 55. Datos obtenidos de las vías colectoras que están dentro de rango y las que no | 99 |
| Tabla 56. Datos obtenidos de las vías locales que están dentro de rango y las que no .. | 100 |

Índice de Gráficos

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Curva de depreciación del sistema óptico-cierre de las luminarias. | 22 |
| Gráfico 2. Datos estadísticos Arconel 2018 del total de luminarias y potencia instalada del área de servicio de la EEA. | 39 |
| Gráfico 3. Geo portal y concesión de la empresa eléctrica Azogues. | 44 |
| Gráfico 4. Av. HNO. Miguel seleccionada desde Geo portal para ejemplo. | 45 |
| Gráfico 5. Av. HNO. Miguel en el campo. | 45 |
| Gráfico 6. Pasos para medir la longitud vial seleccionada..... | 46 |
| Gráfico 7. Longitud total vial medida y ancho de la calzada. | 47 |
| Gráfico 8. Pasos para obtener los datos de las potencias de las luminarias instaladas. .. | 48 |
| Gráfico 9. Pasos para obtener los datos de las potencias de las luminarias instaladas. .. | 49 |
| Gráfico 10. Descripción grafica de cómo se aplica el fujo luminoso sobre una superficie. | 52 |
| Gráfico 11. Descripción del método europeo de los 9 puntos. | 53 |
| Gráfico 12. Posición de los puntos según las características de la vía y disposición del alumbrado público..... | 54 |
| Gráfico 13. Posición de los puntos longitudinales y transversales en el campo de cálculo. | 56 |
| Gráfico 14. Área de medición seleccionada (GIS). | 58 |
| Gráfico 15. Área de medición seleccionada en el campo. | 59 |
| Gráfico 16. Puntos de medición. | 60 |
| Gráfico 17. Puntos de medición tomas en el campo. | 61 |
| Gráfico 18. Puntos de cálculo para la Iluminancia..... | 63 |
| Gráfico 19. Puntos de medición tomas en el campo. | 64 |
| Gráfico 20. Área de medición seleccionada (GIS). | 67 |
| Gráfico 21. Área de medición seleccionada en el campo. | 67 |
| Gráfico 22. Puntos de medición. | 68 |
| Gráfico 23. Puntos de medición tomas en el campo. | 69 |
| Gráfico 24. Puntos de cálculo para la Iluminancia..... | 72 |
| Gráfico 25. Puntos de medición tomas en el campo. | 72 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico 26. Puntos de medición de la franja interior y exterior debajo de la luminaria. | 78 |
| Gráfico 27. Puntos de medición de la franja interior y exterior frente a la luminaria..... | 79 |
| Gráfico 28. Ángulos que inciden en el coeficiente de luminancia. | 83 |
| Gráfico 29. Sistema arterial vial..... | 90 |
| Gráfico 30. Número de vías que pertenece a cada jerarquía vial..... | 93 |
| Gráfico 31. Número de vías que pertenece a cada clase de iluminación. | 93 |
| Gráfico 32. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos de las vías secundarias..... | 98 |
| Gráfico 33. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos de las vías colectoras..... | 99 |
| Gráfico 34. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos de las vías locales..... | 100 |
| Gráfico 35. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos en general. | 101 |
| Gráfico 36. Distribución porcentual y unidad de los resultados que no cumplen. | 101 |

Glosario

SAPG: Sistema de Alumbrado Público General

SAP: Sistema de Alumbrado Público

GAD: Gobiernos Autónomos Descentralizados

MTOP: Ministro de transporte y Obras Públicas

ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad

RETILAP: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

REEAE: Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus instrucciones técnicas complementarias

EEA: Empresa Eléctrica Azogues

DPEA: Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado Público

SR: Relación de Alrededores

CAPITULO I

SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

Los Sistemas de Alumbrado Público forman parte de un sistema de distribución eléctrica, los cuales deben brindar seguridad y comodidad para desarrollar actividades en horario nocturno ya sea para el tránsito vehicular, peatonal o ciclistas, mejorando la estética y ornamentación en espacios públicos la iluminación, además permiten el desarrollo de las ciudades.

Estos sistemas deben cumplir varios parámetros para tener un servicio de calidad y, por ende, que sea eficiente que cumpla con las exigencias y necesidades de la ciudadanía. Es por ello, que se debe realizar un adecuado diseño, implementación y mantenimiento del Sistema de Alumbrado Público (SAP); las empresas distribuidoras que presten este servicio deben dar cumplimiento a ciertas normativas que permitan brindar este servicio de acuerdo con las exigencias establecidas en nuestro país por el ARCONEL en su regulación 006/18 que está vigente actualmente.

1.1.CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

1.1.1. Alumbrado Público General

El Alumbrado Público General está compuesto por luminarias, redes, transformadores, postes, equipos de control, que prestan el servicio de iluminación para vías y espacios públicos para brindar seguridad y comodidad al tránsito vehicular y peatonal correspondiente a cada una de las empresas distribuidoras de energía eléctrica (ARCONEL, 2018).

1.1.2. Alumbrado Público intervenido

Este tipo de Alumbrado corresponde a la iluminación de vías y espacios públicos, pero difieren del APG ya que se deben ajustar a los requerimientos y necesidades de los gobiernos autónomos descentralizados o de otras organizaciones gubernamentales competentes, además puede variar sus niveles de iluminación e infraestructura del APG establecidos en la regulación 006/18 de Arconel (ARCONEL, 2018).

1.1.3. Alumbrado Público ornamental

Es la iluminación de espacios públicos como parques, canchas deportivas, iglesias, piletas monumentos, pero que difieren del APG tanto en niveles de iluminación como en su parte física, ya que debe cumplir los criterios estéticos establecidos por los GAD, MTOP u organismo estatal correspondiente (ARCONEL, 2018).

1.2. TIPOS DE DISPOSICIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO VIAL

La disposición del alumbrado público dependerá de las características propias de cada vía y requerimientos de iluminación requeridos, así se tienen las siguientes disposiciones: Unilateral, las luminarias están distribuidas en un solo lado de la vía. Bilateral, en este caso la calzada cuenta con las luminarias en sus dos lados, instaladas a la misma distancia entre ellas tresbolillo, en esta disposición las luminarias van ubicadas en ambos lados de la calzada en zigzag; Central, en este tipo las luminarias van ubicadas en el parterre de la vía, puede contener una o más luminarias dependiendo de los requerimientos de iluminación (Energía, 2010).

1.3. FACTORES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

1.3.1. Complejidad y la velocidad de la vía

Este factor hace referencia a la topología de la vía, circulación vehicular y alrededores visuales. Se debe de considerar los siguientes puntos: número de carriles, parterres viales, presencia de letreros, señales de tránsito, zonas de conflicto como: cruces, intersecciones, estrechamiento de la vía, zonas con presencia de peatones o vehículos de baja velocidad, que dificulten la circulación, redondeles, pasos a desnivel, rompe velocidades, o sitios donde la iluminación necesariamente requiera ser mayor (ARCONEL, 2018).

1.3.2. Control de tráfico

Hace puntuación a la presencia de señales de tránsito las cuales ayudan al control y distribución del tráfico vehicular en seguridad y circulación. Los métodos de control de tráfico son: semaforización, señalización de la calzada, reglamento de tránsito vehicular y señalización vial de advertencia o peligro. El control se considera escaso por la falta o ausencia de estos elementos (Energía, 2010).

1.3.3. Separación vial

La separación vial depende de la norma que regula cada uno de los diferentes tipos de tráfico y características y necesidades propias de cada vía (ARCONEL, 2018).

1.3.4. Tipos de usuarios de la vía

Este ítem hace referencia a los distintos usuarios que pueden presentarse en la vía tales como: peatones, ciclistas, motociclistas, automóviles, buses, vehículos pesados.

Estos factores determinan las necesidades y soluciones que requieren cada zona en el servicio de alumbrado público, logrando un servicio de calidad (Energía, 2010).

1.4.REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

Un SAPG debe garantizar el normal desarrollo de las actividades en horario nocturno, para lo cual debe cumplir ciertos requerimientos como son: Visibilidad que comprende la iluminación de un sistema de alumbrado público el cual garantiza el normal desarrollo de las actividades vehiculares y peatonales en horario nocturno, para lo cual se debe considerar la altura de montaje, tipo de luminaria tomando en cuenta el desempeño fotométrico y cada una de las variables aplicadas en la norma; cantidad y calidad de luz que consiste en adaptar la cantidad correcta de luz en un área específica, para lograr una adecuada circulación de peatones y vehicular bajo criterios de calidad; Seguridad comprende en permitir a los usuarios que circulen a velocidad normal y evitar un obstáculo cualquiera este criterio establece que un obstáculo fijo o móvil constituido por una superficie de 0,20 m x 0,20 m con un factor de reflexión de 0,15 debe ser visible, considerando lo siguiente: La seguridad de un peatón se logra si este puede distinguir el obstáculo a una distancia de 10 m o más; la seguridad de un automovilista depende esencialmente de su velocidad (ARCONEL, 2018).

A velocidad media (60 km/h aproximadamente), él debe percibir este obstáculo a una distancia de hasta 100 m. Para velocidades superiores, esta distancia oscila entre 100 y 200 m; Confiabilidad de percepción, para que un objeto pueda ser percibido por el ojo humano su contraste debe ser superior al requerido por el mismo, este depende de algunos factores, como: el ángulo desde donde se mire el objeto, la disposición de la luminancia desde el punto del observador, luminancia promedio y deslumbramiento desde las fuentes de luz; Comodidad visual que es un factor importante cuando se refiere al conductor, debido que el conductor tiene la visión de la calzada y la capacidad de reacción ante algo inesperado depende de la comodidad visual de sus ojos y un cansancio que se pueda producir en sus ojos debido a la iluminancia; Evaluación económica y financiera, todo

proyecto de alumbrado público debe considerarse un análisis económico y financiero respecto al costos de inversión, operación y mantenimiento durante su vida útil, su tasa de falla y reposición tanto al final del ciclo de vida del proyecto como de su tasa de falla (Energía, 2010).

1.5.PARAMETROS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Los SAP deben cumplir con ciertos parámetros y niveles para brindar un servicio adecuado de acuerdo con el uso de las vías o espacios a iluminar.

1.5.1. Parámetros Fotométricos

1.5.1.1. Luminancia promedio de la calzada

La luminancia promedio se define como la media aritmética obtenida de los puntos de medición de las luminancias a lo largo de una calzada de estudio. Para cada tipo de vía corresponde un mínimo de luminancia requerido este valor debe mantenerse a lo largo de la vida útil de la instalación, depende de la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades de reflexión de la calzada (Energía, 2010).

1.5.1.2.Uniformidad general de luminancia de la calzada

Se define como la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio presente en la vía, tiene como finalidad mantener un nivel de iluminación uniforme en toda la vía, promedio (ARCONEL, 2018).

1.5.1.3.Uniformidad longitudinal sobre la calzada

Se define como la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima de la vía, medida o calculada en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación (Energía, 2010).

1.5.1.4.Deslumbramiento

Es un factor cuantificado de la medida de pérdida de la capacidad de visión. El deslumbramiento se lo considera a través del incremento de umbral (TI), se calcula para el estado inicial de la instalación, mediante la ecuación 1:

$$\frac{k * E_e}{(L_{av}) * (\theta)^2} (\%) \quad 1$$

En donde (Energía, 2010):

k: Es un factor que varía con la edad del observador, su valor es de 650³.

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

L_{av}: Es la luminancia inicial promedio.

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

Se realiza el cálculo para una luminaria limpia equipada con una bombilla que emite el flujo luminoso inicial.

1.5.1.5.Relación de alrededores

Es la relación entre la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor si la zona no lo permite) adyacentes a los dos bordes de la calzada, para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles, ambas calzadas se consideran como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m. En los casos donde exista una iluminación propia de los alrededores, la utilización de la relación de alrededores no es necesaria (ARCONEL, 2018).

1.5.2. VÍAS PARA TRÁFICO MOTORIZADO

Existen cinco clases de vías, estas se seleccionan en función de la vía, densidad, complejidad y separación todas relacionadas al tráfico y presencia de señalización para la regulación del tráfico (Energía, 2010).

Tabla 1. Clases de alumbrado para diferentes tipos de vías públicas

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

La complejidad de la vía hace referencia a su infraestructura, movimiento de tráfico y alrededores visuales, siendo necesario que se considere el número de carriles, inclinación, entradas y salidas de rampa, intersecciones viales (ARCONEL, 2018).

La separación puede ser por medio de carriles específicos o por normas que regulan la restricción para uno o varios de los tipos de tráfico. El control de tráfico se refiere a la presencia de avisos, señales de tránsito, y métodos de control, tales como semáforos, reglas, avisos y demarcaciones de la vía (Energía, 2010).

Tabla 2. Variación de las clases de alumbrado para diferentes tipos de vías públicas

| Descripción de la vía | Tipo de iluminación |
|--|---------------------|
| Vías de alta velocidad, con pistas separadas libres de intersecciones al mismo nivel y con accesos completamente controlados, autopistas, autovías. Con densidad de tráfico y complejidad de circulación | |
| ALTA (más de 1000 vehículos/hora) | M1 |
| MEDIA (entre 500 y 1000 vehículos/hora) | M2 |
| BAJA (entre 150 y menos de 500 vehículos/hora) | M3 |
| Vías de alta velocidad, vías de doble sentido de circulación. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía. | |
| POBRE | M1 |
| BUENO | M2 |
| Vías urbanas de tráfico importante, carreteras radiales. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía | |
| POBRE | M2 |
| BUENO | M3 |
| Vías secundarias de conexión, carreteras distribuidoras locales, vías de acceso principales residenciales, carreteras que proporcionan acceso a propiedades y conducen a conexiones de carreteras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía. | |
| POBRE | M4 |
| BUENO | M5 |

1.5.2.1. Clase de iluminación según el tipo de vías.

La clase de iluminación C, se define de acuerdo con la ecuación 2:

$$M = 6 - \sum V_{ps} \quad 2$$

En donde:

M: Clase de iluminación va de M1 a M5.

Va de 0 a 5 y corresponde a las clases de iluminación desde C0 a C5, respectivamente.

ΣV_{ps} : Es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados en función de la Tabla 3, siendo 5 su valor máximo debido a que existen parámetros propios de un determinado tipo de vía, lo cual hace imposible que estos parámetros se combinen entre sí para generar un valor superior a 5 (ARCONEL, 2018).

Tabla 3. Parámetros para selección de la clase de iluminación (M)

| <i>Parámetro</i> | <i>Opciones</i> | <i>Valor de ponderación (Vps)</i> | <i>Vps seleccionado</i> |
|---------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Velocidad | Elevada | 1 | |
| | Alta | 0,5 | |
| | Moderada | 0 | |
| Volumen del Trafico | Elevado | 1 | |
| | Alto | 0,5 | |
| | Moderado | 0 | |
| | Bajo | -0,5 | |
| | Muy Bajo | -1 | |

Tabla 4. Parámetros para selección de la clase de iluminación (M)

| <i>Parámetro</i> | <i>Opciones</i> | <i>Valor de ponderación (Vps)</i> | <i>Vps seleccionado</i> |
|-----------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------|
| Composición de Trafico | Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado | 2 | |
| | Mezclado | 1 | |
| | Solamente Motorizado | 0 | |
| Separación de Vías | No | 1 | |
| | Si | 0 | |
| Densidad de la Intersección | Alta | 1 | |
| | Moderada | 0 | |
| Vehículos Parqueados | Se Permite | 0,5 | |
| | No Se Permite | 0 | |
| Iluminación Ambiental | Alta | 1 | |
| | Moderada | 0 | |
| | Baja | -1 | |
| Guías Visuales | Pobre | 0,5 | |
| | Moderado o Bueno | 0 | |
| | | | ΣV_{ps} |

Al momento de obtener un resultado, este no es un número entero se aproxima menor valor de la sumatoria.

1.5.2.2. Parámetros fotométricos.

Teniendo en cuenta las características de las vías y requerimientos visuales, se asignará una clase de iluminación necesaria, a cada una de estas iluminaciones se le establecen los requisitos mínimos fotométricos mantenidos a través del tiempo, los cuales se conocen en la tabla 4 (ARCONEL, 2018).

A continuación, se establece los parámetros fotométricos para tráfico motorizado (M1 al M5):

Tabla 5. Luminancia de calzada para tráfico vehicular

| Clases de Iluminación | Campo de Aplicación | | | Factor de Relación de entorno de SR min | Factor de Relación de entorno de SR min |
|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|---|---|
| | Todas las Vías | Vías sin o con poca intersección | Vías con Aceras no iluminadas | | |
| | Luminancia promedio Lav(cd/m2) min | Factor de uniformidad Uo min | Incremento de Umbral TI% máxima inicial | Factor de uniformidad longitudinal luminancia min | UL |
| M1 | 2 | 0,4 | 10 | 0,7 | 0,5 |
| M2 | 1,5 | 0,4 | 10 | 0,7 | 0,5 |
| M3 | 1 | 0,4 | 10 | 0,7 | 0,5 |
| M4 | 0,8 | 0,4 | 10 | NR | NR |
| M5 | 0,6 | 0,4 | 10 | NR | NR |

NR: No requerido.

1.5.2.3. Valores mínimos de iluminancia.

En la siguiente tabla 5, se especifica los valores mínimos de iluminancia promedio (lx) requerida en vías motorizadas que se necesita:

Tabla 6. Valores mínimos de luminancia promedio (lx) requerida en vías motorizadas que se debe mantener

| Clase de Iluminación | Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx) | | | Uniformidad de la Iluminancia Emin/Eprom (%) |
|----------------------|---|---------|----|---|
| | R1 | R2 Y R3 | R4 | |
| M3 | 12 | 17 | 10 | 34% |
| M4 | 8 | 12 | 10 | 25% |
| M5 | 6 | 9 | 8 | 18% |

Tabla 7. Características de la superficie

| Clase | Características de la superficie |
|-------|--|
| R1 | Superficie de asfalto con un mínimo del 15% de materiales reflectivos o materiales artificiales claros o al menos un 30% de anortositas muy brillantes. Superficie que contiene gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o reflectivos o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes. Superficies de calzada de hormigón de concreto. |
| R2 | Superficie con textura rugosa que contienen agregados normales. Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen 10% al 15% de a brilladores artificiales). Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10mm. Asfalto mastico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mastico en estado nuevo. |
| R3 | Revestimiento de hormigón (asfalto frio, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa pero pulimentada. |
| R4 | Asfalto mastico después de varios meses de uso. Superficies con textura bastante suave o pulimentada. |

1.5.3. VÍAS PEATONALES

Estas áreas se debe garantizar la visibilidad de objetos, tipo de pavimento, topología de la calzada, marcas, señalización, bordillos, además de garantizar el tráfico seguro de peatones y ciclistas (Energía, 2010).

1.5.3.1. Clase de iluminación según el tipo de vía.

La iluminación dependerá del tipo de vía al que se le va a emplear, a continuación, se muestra la clasificación tabla 7.

Tabla 8. Iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas

| <i>Clases de iluminación</i> | <i>Descripción del uso de la calzada según la clases de iluminación</i> |
|------------------------------|---|
| P1 | Vías de gran importancia |
| P2 | Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas. |
| P3 | Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas. |
| P4 | Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. |
| P5 | Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante mantener el lugar o el carácter arquitectónico del entorno |
| P6 | Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente. |

1.5.3.2. Parámetros fotométricos para tráfico peatonal y tráfico de baja velocidad

Los parámetros fotométricos para tráfico peatonal se definen de P1 al P6, medidas a nivel del suelo, se representa en la siguiente tabla 8.

Tabla 9. Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal y tráfico de baja velocidad.

| Clases de Iluminación | Iluminación (lx) | |
|-----------------------|------------------|--------------|
| | Valor Promedio | Valor Mínimo |
| P1 | 20 | 7,5 |
| P2 | 10 | 3 |
| P3 | 7,5 | 1,5 |
| P4 | 5 | 1 |
| P5 | 3 | 0,6 |
| P6 | 1,5 | 0,2 |

1.5.4. SISTEMAS ESPECIALES DE ILUMINACIÓN.

1.5.4.1. Zonas de Conflicto

Estas se originan partir que el flujo de vehículos se cruza entre sí o se dirige hacia lugares frecuentados por peatones, ciclistas o usuarios de otros caminos; o cuando hay un cambio en la geometría de la vía, tales como una reducción del número de carriles o la reducción del ancho de un carril o una calzada. La clase de iluminación C, en la zona de conflicto, se determina mediante la ecuación (ARCONEL, 2018).

$$C = 6 - \sum V_{ps} \quad 3$$

En donde (Energía, 2010):

C: Clase de iluminación va de C0 a C5.

Va de 0 a 5 y corresponde a las clases de iluminación desde C0 a C5, respectivamente.

ΣVps : Es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados en función de la Tabla 9, siendo 5 su valor máximo debido a que existen parámetros propios de un determinado tipo de vía, lo cual hace imposible que estos parámetros se combinen entre sí para generar un valor superior a 5.

Tabla 10. Parámetros para la selección de la clase de iluminación C.

| <i>Parámetro</i> | <i>Opciones</i> | <i>Valor de ponderación (Vps)</i> | <i>Vps seleccionado</i> |
|---------------------------|--|---|-----------------------------|
| Velocidad | Elevado | 3 | |
| | Alto | 2 | |
| | Moderado | 1 | |
| | Bajo | 0 | |
| Volumen del Tráfico | Elevado | 1 | |
| | Alto | 0,5 | |
| | Moderado | 0 | |
| | Bajo | -0,5 | |
| | Muy Bajo | -1 | |
| Composición de Tráfico | Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado | 2 | |
| | Mezclado | 1 | |
| | Solamente Motorizado | 0 | |
| | | | |
| Separación de Vías | No | 1 | |
| | Si | 0 | |

Tabla 11. Parámetros para la selección de la clase de iluminación C.

| <i>Parámetro</i> | <i>Opciones</i> | <i>Valor de ponderación (Vps)</i> | <i>Vps seleccionado</i> |
|-----------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Iluminación Ambiental | Alta | 1 | |
| | Moderada | 0 | |
| | Baja | -1 | |
| Guías Visuales | Pobre | 0,5 | |
| | Moderado o Bueno | 0 | |
| | | | ΣV_{ps} |

1.5.4.2. Parámetros fotométricos para zonas en conflicto.

En la tabla 10 se definen cada uno de los parámetros fotométricos para las zonas de conflicto las cuales son 6 clases de iluminación (C0 al C5) (Energía, 2010).

Tabla 12. Parámetros fotométricos para zonas de conflicto.

| Clases de Iluminación | Iluminación Promedio $E(lx)^2$ | Uniformidad de la Iluminación U_0 (E) | Incremento de Umbral (%) ^ 3 | |
|-----------------------|--------------------------------|---|------------------------------|---------------------------|
| | | | Moderada y Alta velocidad | Baja y Muy baja velocidad |
| C0 | 50 | 0,4 | 10 | 15 |
| C1 | 30 | | 10 | 15 |
| C2 | 20 | | 10 | 15 |
| C3 | 15 | | 15 | 20 |
| C4 | 10 | | 15 | 20 |
| C5 | 7,5 | | 15 | 25 |

1.6. UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS EN ILUMINACION VIAL

Para realizar un buen montaje de los puntos de iluminación se debe tener en cuenta algunos de los criterios para su implementación, siendo los principales: ancho de la vía (A), clase de iluminación requerida según el tipo de vía, altura de montaje de la lámpara, perfil de la vía, las distancias mínimas de seguridad con las redes de alta, media y baja tensión respecto a las luminarias, como también, la simplicidad para su mantenimiento (Energía, 2010).

Para la interdistancia de la ubicación de los postes de iluminación dependerá del estudio fotométrico en las vías, estas interdistancias se pueden reducir salvo la presencia de obstáculos ineludibles, tales como: alcantarilla, rampas de acceso a garajes, interferencia con redes de servicio público existente. Se puede obtener interdistancia más grande aplicando las siguientes alternativas de manera secuencial (Energía, 2010).

- Optar por una luminaria que mayor se acople a las necesidades o requerimientos de la vía.
- Reajustar las abrazaderas de las luminarias para lograr un aumento en la dispersión de la onda de luz emitida por la bombilla.
- Ajustar la inclinación de la mascarilla donde se aloja la bombilla pasando de 0° hasta un máximo de 20° para una mayor cobertura de la luminaria hacia la vía.
- Implementar brazos de luminarias de mayor longitud, logrando de esta manera que la luminaria se sitúe lo más centrada posible a la calzada.

A continuación, se muestra recomendaciones para la disposición de luminarias según la clase de vía, tabla11 (Energía, 2010).

Tabla 13. Recomendaciones para disposición de luminarias.

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

1.6.1. Zonas especiales para la implementación de luminarias.

Las zonas especiales de iluminación son consideradas los cruces de vías, curvas, pendientes entre otras, estas zonas por presentar características diferentes a la de una vía normal requiere una disposición de luminarias de tal forma que cumplan con una correcta iluminación, para lograrlo se describe las siguientes recomendaciones a seguir para la disposición de luminarias de estas diferentes zonas (Energía, 2010):

a) Disposición de luminarias en trayectorias curvas.

En curvas un conductor esfuerza el trabajo visual para lograr una mejor visualización de los distintos equipos de señalización presentes en la vía, como la visualización de la calzada frente al auto a lo largo de la curva. La correcta iluminación de una trayectoria curva va a depender del ángulo de curvatura y según eso reducir la interdistancias de poste a poste (Electricidad, 2016).

b) Disposición de luminarias en pendientes.

En vías donde se presentan pendientes lo recomendado es localizar la luminaria de tal forma que el haz de luz caiga de manera perpendicular a la vía. El ángulo de inclinación entre la luminaria y el brazo de la luminaria se le conoce como spin, este ángulo debe ser el mismo que presenta la vía (Electricidad, 2016).

1.7.EFICIENCIA ENERGETICA EN SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

En un SAP para lograr una eficiencia energética se debe considerar múltiples factores y requerimientos para lograr un ahorro energético significativo y a su vez tener un SAP sostenible y responsable con el medioambiente, para lograrlo se debe considerar varios criterios en su diseño entre ellos tenemos:

1. El nivel de iluminación debe ser el adecuado de acuerdo con la tarea a realizar, dentro de los valores indicados en la (NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 900) para cada tipo de iluminación. Salvo ciertas circunstancias se podrá superar los niveles luminosos hasta un 20 %, en casos puntuales debidamente justificados.
2. Se opta para su instalación la bombilla de mayor eficacia luminosa (lm/W) que cumplan con los parámetros del proyecto de alumbrado público.
3. En alumbrados de vías y calles peatonales deben instalarse luminarias con mínima emisión de luz por encima del plano horizontal, en su defecto utilizar reflectores que dirijan el flujo luminoso en el área a iluminar, reduciendo así la contaminación luminosa.
4. El sistema de iluminación, en alumbrado público se debe optar por una disposición de puntos de luz unilateral, cuando la relación entre el ancho de la

calzada y la altura del punto de luz sea igual a 1,2 o inferior, siempre que se cumplan los parámetros de calidad y cantidad de luz.

5. En el caso de las bombillas de vapor de sodio de alta presión, cuando existe sobretensión en la red al utilizar balastos serie tipo inductivo, por su limitada capacidad de regulación, un incremento del 10 % en la tensión de la red eléctrica produce una elevación del 20 % y el 25 % de la potencia, resultando perjudicial para la bombilla, reduciendo drásticamente más del 50% de su vida útil, para evitar este tipo de inconveniente se puede tomar las siguientes medidas preventivas:
 - Implementar balastos autorregulados.
 - Instalar balastos electrónicos,
 - Utilizar estabilizadores de tensión de cabecera de línea.
6. Utilizar luminarias de doble nivel de potencia, con lo cual se logra un SAP más eficiente.
7. Se deben limitar las pérdidas propias de la instalación, especialmente las debidas al efecto Joule en líneas de alimentación y los consumos por sobretensión de suministro.
8. Desde el instante inicial, se debe planificar y programar conservación y mantenimiento de las instalaciones (Energía, 2010).

1.7.1. Eficiencia Energética en el uso de Alumbrado público.

Se debe controlar el consumo de energía, mediante discriminación horaria, energía reactiva, entre otros, analizando las situaciones y aplicando las medidas correctivas necesarias, además de disminuir las pérdidas técnicas de los SAP, por lo que es indispensable es disponer de un inventario de estas, que deberá contener al menos lo que

es tipo de luminaria, redes de alimentación de energía, dispositivos de control y maniobra, así como también se debe determinar el ciclo o ciclos de funcionamiento en el cual se debe fijar el horario específico de la instalación con el fin de mejorar y prever el consumo de energía del SAP, por lo tanto toda instalación debe tender hacia un control continuo y exacto de los ciclos de funcionamiento mediante sistemas electrónicos e informáticos (Guevara y Lara, 2015).

1.7.2. Eficiencia energética en el mantenimiento de alumbrado público.

Cuando las instalaciones no reciben ningún tipo de mantenimiento por razones de seguridad o económicas, esto lleva a un degrado del estado y eficiencia de las instalaciones, por lo que se recomienda llevar a cabo inspecciones y mantenimientos en intervalos regulares de tiempo a todos los equipos que conforman las instalaciones de alumbrado, además se debe considerar los siguientes efectos para su mantenimiento (García, 2016):

- Depreciación y culminación de la vida útil de las fuentes de luz.
- Depreciación por contaminación de las luminarias.

Un mantenimiento preventivo en las instalaciones es muy útil, ya que garantiza el correcto funcionamiento del alumbrado y a demás asegura una eficiencia energética como lo podemos observar en la figura 1, en el eje de las abscisas los años desde que se inauguró la instalación, y en el eje de las ordenadas la energía consumida y utilizada. La curva X representa la energía útil de la instalación de alumbrado, observándose una gran cantidad de energía desperdiciada debido a la ausencia de un plan de mantenimiento (Pazos, 2015).

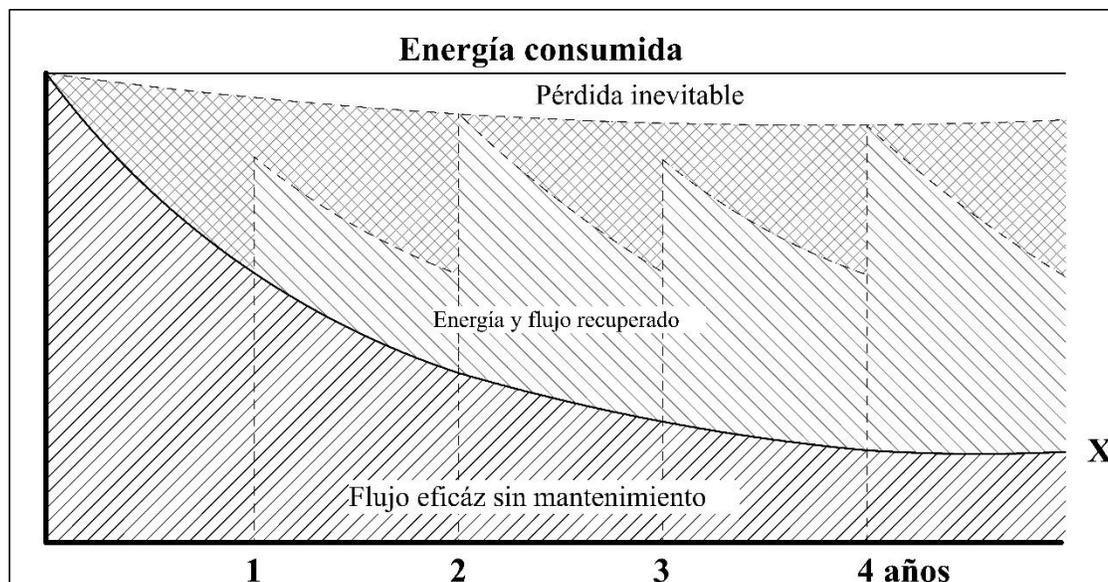


Gráfico 1. Curva de depreciación del sistema óptico-cierre de las luminarias.

Los elevados costos de elaboración y ejecución de un buen plan de mantenimiento, hace necesario considerar la gestión y realización del mantenimiento de las instalaciones de alumbrado en general por:

1. Su consumo energético.
2. Necesidad de que las instalaciones cumplan con su vida útil de utilización.
3. Amortización de la inversión en un periodo asequible.
4. Punto óptimo

1.7.3. Gestión del mantenimiento.

Es importante elaborar o disponer de un sistema de detección de averías y de reparación de éstas. Para lograr la rápida detección de averías, se centraliza la información en un departamento o persona que coordine los datos recibidos y se responsabilice de la reparación de la avería (Herrera y Duany, 2016).

Esta persona u operador deberá identificar y clasificar cada tipo de daño que pueda presentarse en el sistema de alumbrado público, una vez realizado esto se procede a

plantear y programar el mantenimiento requerido, estos mantenimientos pueden ser los siguientes (Herrera y Duany, 2016):

1.7.3.1. Mantenimiento preventivo:

Este mantenimiento ayuda a determinar las posibles acciones que se puede tomar para evitar las averías que con más frecuencia se presentan en el sistema de alumbrado, esto se logra mediante técnicas de diagnóstico y administrativas. Para las técnicas de diagnóstico se consideran (Hijar y Hermes, 2018):

Mediciones eléctricas en diferentes puntos a lo largo de la red de alimentación del sistema de alumbrado público en perfiles de tensión y niveles de armónicos. Parámetros eléctricos del tipo de luminaria y equipos de esta, como también comprobación de los parámetros fotométricos que estén dentro de los rangos permitidos de iluminancia permitiendo medir la calidad de iluminación.

Toda la información antes mencionada debe ser considerada y analizada para elaborar un programa de mantenimiento preventivo para el sistema de alumbrado, este programa debe ser elaborado por el operador, persona encargada o departamento correspondiente teniendo en cuenta factores como:

- Reposición masiva de bombillas.
- Operaciones de limpieza de las luminarias y sus equipos auxiliares.
- Personal destinado para este trabajo.
- Costo y beneficio.

1.7.3.2. Mantenimiento correctivo:

Este tipo de mantenimiento se lo realiza ya una vez averiada la luminaria, se detecta la luminaria en falla, se procede a identificar la avería pudiendo ser, la bombilla, los equipos auxiliares o mecánicos de esta. Si la luminaria en cuestión presenta reincidencia de falla se procederá al análisis del vano de alimentación de la luminaria en la que se puede

presentar variaciones en los niveles de tensión causando la falla constante de la luminaria por lo que se tendría que verificar los equipos mecánicos y eléctricos del sistema de distribución (Franco, Israel, Guayllazaca y Francisco, 2017).

1.7.4. Eficiencia de Luminarias de Alumbrado Público

En la actualidad las empresas de distribución eléctrica están optando por implementar sus sistemas de alumbrado público general con luminarias de tipo LED, ya que ofrece varios beneficios en comparación con las luminarias de sodio de alta presión, para lograr una eficiencia energética en el alumbrado público se debe tener un plan de mantenimiento que permita mantener el sistema en óptimas condiciones, entre las ventajas que nos puede ofrecer la tecnología Led tenemos (Chej y Abdalahi, 2015):

- **Mayor cantidad de lúmenes:** el LED de alta potencia ofrece hasta ocho veces más brillo que las lámparas convencionales.
- **Ahorro de energía:** las fuentes de luz LED de alta potencia son extremadamente eficientes y devuelven al menos un 80% de ahorro con respecto a las lámparas de sodio o mercurio convencionales.
- **Arranque instantáneo:** las luces LED no requieren un retraso de tiempo para alcanzar niveles óptimos de brillo.
-

En la tabla 12 se realiza una comparación entre los tipos de lámparas más utilizados en los SAPG.

Tabla 14. Comparación de eficiencia entre lámparas Led y de Vapor de Sodio.

| Tecnología LED | Lámparas de Vapor de Sodio | Lúmenes |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------|
| 60 | 100 | 4800-5400 |
| 80 | 120 | 6400-7200 |
| 90 | 150 | 7200-8100 |
| 120 | 200 | 9600-10000 |
| 150 | 250 | 12000-13500 |
| 180 | 250 | 12800-14400 |

1.8. TECNOLOGIAS MODERNAS PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Con el transcurso de los años se ha ido implementando nuevas y mejores tecnologías en lo que se refiere a sistemas de Alumbrado Público vial entre las cuales se puede mencionar, Luminarias Led, Luminarias Led fotovoltaicas integradas, ya se viene desarrollando los sistemas para Alumbrado Inteligente (Salas y Benavides, 2015).

1.8.1. Luminarias led fotovoltaicas integradas

Este tipo de luminarias se han desarrollado en la actualidad para alumbrado público las mismas que utilizan la energía solar como fuente primaria, cuentan con paneles fotovoltaicos con batería recargable no requieren de conexiones a la red, esto implica menores costos de operación además requieren menos mantenimiento que las luminarias convencionales. Una ventaja muy importante de estas luminarias solares es que son amigables con el medioambiente ya que utiliza fuente de energía renovable lo cual permite disminuir las emisiones de CO₂ (Ceballos, Rivoira, Tonon y Berizzo, 2019).

1.8.2. Elementos de una instalación Solar Fotovoltaica

Los elementos principales de una instalación Solar fotovoltaica autónoma o conectada a la red son: panel o grupo de paneles que son los encargados de la generación de la energía eléctrica ya sea para centrales de generación o para viviendas y en este caso para lámparas de alumbrado público con paneles integrados, que se está convirtiendo en una alternativa con beneficios muy importantes (Acevedo, 2016).

Los componentes básicos de una instalación fotovoltaica son: Panel solar, Controlador/Regulador, Inversores, Baterías y la carga.

1.8.2.1.Paneles Solares

Los paneles son los encargados de la generación de energía, existen de varios tipos los más utilizados son los monocristalinos y Policristalinos (Alata, 2015).

1.8.2.2.Regulador

Este componente evita la sobrecarga, y la descarga excesiva de un acumulador cuando se obtiene determinados valores, estos pueden ser reguladores en serie o en paralelo (Alata, 2015).

1.8.2.3.Batería

La batería es un acumulador electroquímico capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación de esta en energía electroquímica, esta brinda autonomía al sistema SFV y pueda brindar energía en cualquier momento así no exista radiación o no este generando los paneles (Ramírez, Duque y Velásquez, 2014).

1.8.3. Desventajas de las luminarias Led fotovoltaicas integradas

En comparación con las luminarias de alumbrado público convencionales como son las de vapor de sodio tenemos algunas desventajas de las luminarias solares (Rivera, Ruíz y Díaz, 2020):

- Su inversión inicial es más alta.
- Los paneles fotovoltaicos deben darse mantenimiento continuo.
- Las baterías deben ser reemplazadas varias veces durante la vida útil.
-

A pesar de sus desventajas este tipo de luminaria son una de las innovaciones tecnológicas actuales que poco a poco se ira implementando en los sistemas de alumbrado público de grandes ciudades (Vélez, Figueroa y Torres, 2015).

1.9.ALUMBRADO PÚBLICO INTELIGENTE

El alumbrado público inteligente tiene una demanda creciente para convertir ciudades en ciudades inteligentes con carreteras y autopistas desarrolladas; el sistema de alumbrado público es la característica más notable que representa la urbanización de una ciudad. Los sistemas de alumbrado público están destinados a proporcionar tráfico más seguro y movimiento de peatones además de aumentar el ambiente agradable de las ciudades (Jiménez, Olmedo y Suárez, 2017).

Se vienen desarrollando varias tecnologías con respecto a las “Smart Cities” en varios aspectos en uno de ellos lo que hace referencia al alumbrado público inteligente que brinda un desarrollo a las ciudades y puedan tener un alumbrado más eficiente y respetuoso con el medio ambiente ya que mediante estos sistemas se reduce el consumo de energía y se logra tener una mayor eficiencia energética que hoy en día se ha tornado en un punto principal en el desarrollo de proyectos (Rodríguez, 2016).

El sistema de alumbrado público es la característica más importante para el desarrollo de una ciudad en lo que respecta a la noche. Los SAPG están destinados a proporcionar tráfico más seguro y movimiento de peatones además de aumentar el ambiente de una ciudad. Los sistemas de iluminación convencionales utilizan una combinación de bombillas fluorescentes, CFL, haluro metálico o lámparas de sodio de alta presión (Rivera, 2019).

1.10. MÁXIMA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Con el criterio de la densidad de potencia eléctrica para el sistema de alumbrado público, se puede garantizar los valores máximos permitidos en referencia al ancho de la calzada, establecidos en la tabla 13, para que los niveles de iluminación sean los ideales según el diseño se debe cumplir con los parámetros mínimos de luminancia e iluminancia. Esto quiere decir que se asegura que una vía no se encuentre muy iluminada o poca iluminada (Energía, 2010).

Este criterio aplica a vías con velocidades menores de 60 Km/h, con excepción de túneles, por lo general son diseñadas con el criterio de la iluminancia y no deben exceder los valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para el Alumbrado Público (DPEA) Tabla 13; estos valores están definidos en base a la iluminancia promedio mantenida y el área total a iluminar (calzadas, camineras peatonales). La DPEA no debe ser mayor al permitido en el diseño ni durante la operación (Energía, 2010).

1.10.1. Método de cálculo

La DPEA se realiza a partir del cálculo de la carga total conectada para alumbrado público y del área total a iluminar. Esta relación se observa en la ecuación 4.

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado público}}{\text{Área total iluminada}} \quad 4$$

Donde la DPEA está expresada en W/m^2 , la carga total conectada para alumbrado está expresada en vatios y el área total iluminada está expresada en metros cuadrados.

Para las áreas destinadas a aceras o similares, el cálculo no contempla esa área, si no se la añade como área de objeto de iluminación (Energía, 2010).

Tabla 15. Valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) para vías vehiculares (W/m^2)

| Nivel mantenido de iluminancia promedio lux (lx) | DENSIDAD DE POTENCIA (W/m^2), según ancho de la calzada de iluminación (m) | | | | |
|---|--|-------|----------|-----------|-----------|
| | < 6 | 6 a 8 | 8,1 a 10 | 10,1 a 12 | 12,1 a 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 |

Tabla 16. Valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) para vías vehiculares (W/m²)

| lux (lx) | Ancho de la calzada (m) | | | | |
|----------|-------------------------|------|------|------|------|
| 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 |

Para el caso de las vías con velocidades de circulación que superen a los 60 Km/h y diseñadas con el criterio de luminancia presentarán un cálculo diferente, el cálculo de la DPEA es remplazado por el concepto de Relación de Eficiencia Energética (EER- Energy Efficiency Ratio) cuyo cálculo se realiza en base a la potencia activa de la luminaria, la luminancia del área iluminada y el área iluminada. Esta relación se observa en la ecuación 5.

$$EER = \frac{P}{L \times S} \left[\frac{W}{\frac{cd}{m^2} * m^2} \right] \quad 5$$

En donde:

P: potencia en W

L: luminancia mantenida cd/m²

S: área en m²

El valor máximo de EER aceptado será 0,8 W / cd. Los valores para cálculo serán tomados de la información suministrada por el fabricante.

1.11. NORMAS PARA DISEÑO Y SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO

1.11.1. REGULACIÓN Nro. ARCONEL 006/18: PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) es una entidad regulatoria y de control para la operación y desarrollo del sector eléctrico en Ecuador. Bajo la supervisión del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, el ARCONEL es el encargado de emitir regulaciones para compañías de electricidad, lleva a cabo estudios y análisis técnicos, promueve iniciativas de protección ambiental en el sector e impone sanciones de suspensión. ARCONEL fue creada en 2015 como sucesor del Coordinador Eléctrico Nacional (CONELEC), que operaba desde 1996. Tiene su sede en Quito (ARCONEL, 2018).

La Dirección Ejecutiva de la ARCONEL mediante Oficio Nro. ARCONEL-ARCONEL-2018 1549-OF del 19 de diciembre de 2018, puso a consideración del Directorio el proyecto de Regulación "Prestación del Servicio de Alumbrado público General"; siendo necesario sustituir la Regulación anterior Nro. CONELEC 005/14 "prestación del Servicio de Alumbrado Público General" considerando el nuevo marco legal establecido en Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica -LOSPEE-, expidiendo una regulación actualizada que contenga los aspectos técnicos para la prestación del Servicio de Alumbrado público General -SAPG-. a fin de que este servicio se preste con calidad y eficiencia (ARCONEL, 2018).

REGULACIÓN Nro. ARCONEL 006/18, Normar las condiciones técnicas que permitan a las empresas eléctricas distribuidoras prestar el servicio de alumbrado público general con calidad y eficiencia. Esta regulación debe ser revisada y cumplida por:

- Las Empresas Eléctricas distribuidoras, como prestadoras del Servicio de Alumbrado público General,

- Los consumidores regulados y no regulados como responsables del pago de este servicio.
- Los GAD como entidades responsables del espacio público y seguridad ciudadana;
- La Policía Nacional o la autoridad de tránsito competente como responsable del sistema de semaforización;
- El Ministerio de Transporte y Obras Públicas como constructor de nuevas vías o ampliación de las existentes;
- Las entidades públicas responsables de la seguridad ciudadana y
- Los usuarios del servicio de alumbrado público general (ARCONEL, 2018).

1.11.2. Obligaciones de las Empresas Distribuidoras

Las Distribuidoras, como responsables de la prestación del Servicio de alumbrado público general, deberán:

- Planificar, administrar, operar, mantener y expandir el Servicio de alumbrado público general a fin de cubrir la demanda en su área de prestación de servicio, en coordinación con los GAD, el MTOP, policía Nacional o Autoridad de Tránsito Competente, en los casos que corresponda
- Cumplir y reportar a la ARCONEL los índices de calidad y continuidad de la prestación del Servicio de alumbrado público general, acordadas en la presente regulación;
- Cumplir con los parámetros técnicos establecidos en la presente regulación.
- Mantener actualizada la base de datos de los activos del APG, y georreferenciar las luminarias del alumbrado público intervenido, ornamental y medidores, mediante el sistema de información geográfica (SIG);

- Mantener actualizada la base de datos de semaforización y equipos de seguridad ciudadana, en el sistema de información geográfica (SIG).
- Medir y registrar mensualmente el consumo de energía eléctrica del alumbrado público ornamental he intervenido.
- Instalar equipos que cumplan con las políticas, criterios de eficiencia energética y las normas de homologación emitidas por el Ministerio Rector.
- Recaudar el valor correspondiente por concepto del Servicio de alumbrado público general de forma mensual a los consumidores regulados y no regulados del sistema.
- Suscribir los convenios que considere pertinentes con los GAD o entidades competentes, para realizar el mantenimiento del alumbrado público general, intervenido y ornamental. Los costos del mantenimiento correrán a cargo del GAD o entidad estatal competente.
- Suscribir los acuerdos de cofinanciamiento que considere pertinentes para la construcción de los sistemas de alumbrado público ornamental he intervenido para lo cual la empresa eléctrica distribuidora deberá considerar los costos de un Alumbrado Público estándar.
- Aprobar los estudios y diseños de los sistemas de alumbrado público intervenido, ornamental, semaforización y seguridad ciudadana;
- Atender los requerimientos de los usuarios del sistema de alumbrado público general.

- Garantizar el suministro eléctrico para la infraestructura de alumbrado público general, ornamental he intervenido.
- Identificar y diferenciar los activos del APG (ARCONEL, 2018).

1.11.3. Obligaciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD).

A los GAD, de acuerdo con sus competencias, les corresponde:

- Previo a la instalación de los sistemas de alumbrado público ornamental he intervenido, coordinar con las empresas eléctricas distribuidoras, la aprobación de su construcción y el suministro eléctrico de estos sistemas.
- Planificar, construir, operar y mantener los sistemas de Alumbrado Público ornamental he intervenido y, de ser el caso, los sistemas de seguridad ciudadana.
- Desarrollar los estudios técnicos y las obras de alumbrado público ornamental he intervenido en la construcción de nuevas vías o la ampliación de las existentes.
- Reportar a las empresas eléctricas distribuidoras, las coordenadas de
- ubicación, las especificaciones técnicas y numero de luminarias utilizadas en espacios publico bajo su competencia.
- Suscribir convenios con las empresas eléctricas distribuidoras para el mantenimiento del alumbrado público ornamental he intervenido, los costos del

mantenimiento correrán a cargo del GAD u órgano estatal competente (ARCONEL, 2018).

1.12. SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL EN EL ECUADOR

Actualmente en nuestro país las empresas distribuidoras se han empeñado en la construcción, ampliación y mejoramiento del SAPG correspondiente a cada una de sus áreas de concesión en cumplimiento con la regulación 006/18 del Arconel que está en vigencia en el Ecuador (García, 2016).

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía Eléctrica de octubre de 2019 el consumo correspondiente al Alumbrado público a nivel nacional es 1368,21 GWh que equivale al 5,5% de la demanda de energía del Sistema Nacional Interconectado (Electricidad, 2016).

En la tabla 14 podemos observar la evolución en la facturación por el concepto de consumo de energía eléctrica por grupo de consumo, es así como en lo referente al APG las distribuidoras han facturado en el 2018 por ejemplo es de 3.678,08 GWh, lo que nos muestra el incremento que tenemos anualmente solo en comparación desde el 2014 por lo que es necesario implementar SAPG más eficientes (García, 2016).

Tabla 17. Facturación de energía eléctrica por las distribuidoras en GWh por grupo de consumo de 2014 a 2018.

| Año | Residencial (GWh) | Industrial (GWh) | Comercial (GWh) | Alumbrado Público (GWh) | Total (GWh) |
|------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|
| 2014 | 6.364 | 4.974,56 | 3.785,72 | 2.834,02 | 17.958,30 |
| 2015 | 6.927,71 | 4.972,67 | 3.981,06 | 3.061,15 | 18.942,59 |
| 2016 | 7.104,85 | 4.778,08 | 3.838,26 | 3.176,24 | 18.897,42 |
| 2017 | 7.298,00 | 4.924,57 | 3.843,01 | 3.361,97 | 19.427,55 |
| 2018 | 7.400,31 | 5.091,68 | 3.830,56 | 3.678,08 | 20.000,62 |

La facturación de las empresas distribuidoras en millones de dólares por concepto de consumo de energía eléctrica por grupo de clientes tenemos en la Tabla 15, lo que es evidente que va aumento cada año es así como por consumo de AP se ha facturado una cantidad de 298,97 MUSD lo que respecta al 2018.

Tabla 18. Facturación de energía eléctrica por las distribuidoras en MUSD por grupo de consumo de 2014 a 2018

| Año | Residencial (MUSD) | Industrial (MUSD) | Comercial (MUSD) | Alumbrado Público (MUSD) | Total (MUSD) |
|------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------|
| 2014 | 635 | 380,40 | 337,53 | 259,29 | 1.611,82 |
| 2015 | 711,98 | 418,57 | 383,85 | 283,30 | 1.797,70 |
| 2016 | 726,99 | 453,52 | 398,96 | 283,59 | 1.863,06 |
| 2017 | 742,32 | 465,96 | 399,88 | 293,17 | 1.901,33 |
| 2018 | 751,29 | 407,85 | 397,82 | 298,97 | 1.855,92 |

Para el año 2018 las empresas distribuidoras a nivel del país cuentan con 1.548.918 luminarias que corresponde a una potencia instalada de 250,332 kW en sus áreas de prestación de servicio correspondiente a cada una de ellas (García, 2016).

El consumo promedio mensual para el 2018 fue 322,52 kWh/cliente. Este valor fue calculado, de la relación entre el total de energía consumida y el total de clientes regulados a nivel nacional. El sector industrial es el de mayor consumo mensual con 9.904,69 kWh/cliente, debido a que el número de clientes es considerablemente menor (Electricidad, 2016).

El consumo de energía promedio mensual por clientes regulados en lo que respecta a Alumbrado Público es de 21,13kWh/cliente que es un promedio elevado pudiendo disminuir estos consumos mediante mejoramiento, y mantenimiento de los SAPG, y

lograr así una eficiencia energética que beneficie a todos los involucrados incluyendo el medio ambiente (García, 2016).

1.12.1. Tipos de luminarias utilizadas en el Alumbrado público del Ecuador

En nuestro país los sistemas de alumbrado público están conformados por diferentes tipos de lámparas como son:

- Lámparas de vapor de sodio a alta presión de simple y doble nivel de Potencia.
- Lámparas mixtas.
- Lámparas LEDs.

Las lámparas más usadas en la actualidad son las de sodio de alta presión, pero poco a poco están siendo reemplazadas por las de tipo Led que ofrece mayor eficiencia y requieren menor mantenimiento; en la tabla 16 se observa algunas de las características de los tipos de lámparas usadas en los Sistemas de Alumbrado Público Vial a nivel Nacional (Córdor, 2018).

Tabla 19. Tipos de Luminarias más utilizadas en Alumbrado Público en Ecuador

| LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO | | | |
|----------------------------|---------------|--------------------|----------------------|
| Potencia | Flujo (Lm) | Eficacia (Lm/W) | Vida Útil (horas) |
| 100 | 10700 | 107 | 28700 |
| 150 | 18000 | 117 | 32000 |
| 250 | 33000 | 130 | 36000 |
| 400 | 58400 | 138 | 36000 |
| LÁMPARAS DE LUZ MIXTA | | | |
| 100 | 1100 | 11 | 6000 |
| 160 | 3150 | 20 | 6000 |
| 250 | 5000 | 25 | 6000 |

Tabla 20. Tipos de Luminarias más utilizadas en Alumbrado Público en Ecuador

| Potencia | Flujo (Lm) | Eficacia (Lm/W) | Vida Útil (horas) |
|---------------------|---------------|--------------------|----------------------|
| 500 | 5500 | 30 | 10000 |
| LÁMPARAS LED | | | |
| 60 | 6600 | 110 | 50000 |
| 90 | 9900 | 110 | 50000 |
| 150 | 16500 | 110 | 50000 |
| 220 | 24200 | 110 | 50000 |

Como podemos observar en la tabla 16 la lámpara de mejores prestaciones es la de tecnología Led ya produce mayor cantidad de lumen a menor potencia, lo cual significa que este tipo de lámparas son las más eficientes en la actualidad para el Alumbrado público vial, pero sus costos de inversión inicial son mayores, pero a largo plazo la razón beneficio costo puede dar como resultado favorable ya que tienen una mayor vida útil (Energía, 2010).

1.13. SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL EN LA ZONA URBANA DE AZOGUES

El servicio de energía eléctrica y de Alumbrado Público en la ciudad de Azogues presta la Empresa Eléctrica Azogues C.A la cual cubre un área de distribución de 1150,21 km² que corresponde al 0,45% de la extensión territorial, el 53% corresponde a la provincia del Cañar y el 47% restante a poblaciones de la provincia de Chimborazo (Cóndor, 2018).

1.13.1. Tipos de luminarias utilizadas en el Alumbrado Público

Para el año 2018 la EEA tiene instaladas en el área de concesión correspondiente 15.647 luminarias con una potencia instalada de 2,455MW, en la figura 2. podemos

observar estos datos estadísticos según el Arconel, lo que nos muestra un bajo porcentaje en comparación con las otras distribuidoras a nivel de Ecuador (Córdor, 2018).

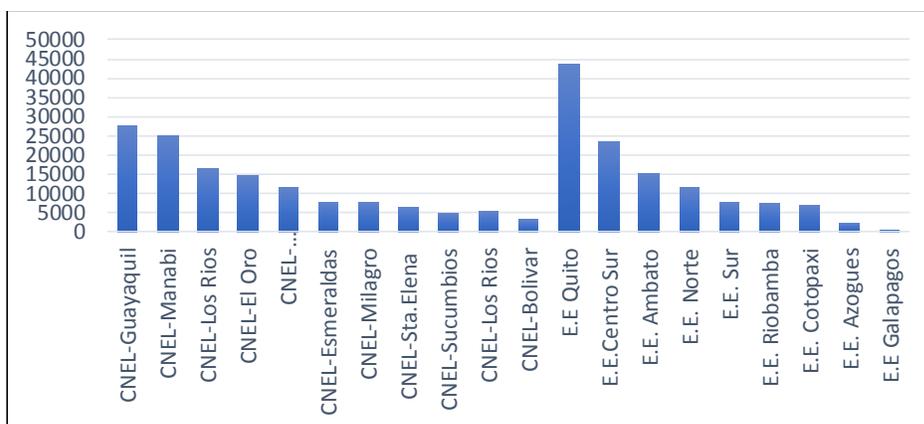


Gráfico 2. Datos estadísticos Arconel 2018 del total de luminarias y potencia instalada del área de servicio de la EEA.

En lo que respecta al año 2019 se han venido desarrollando algunos proyectos en AP en el área de servicio de la EEA, por lo que se tiene una variación de estos datos, en el anexo 1 se puede observar en detalle el tipo y la cantidad de luminarias que tiene la EEA en lo que corresponde a su área de concesión, teniendo un total de 16308 luminarias instaladas lo que nos da una potencia instalada total incluyendo las pérdidas de 2985,97 kW tabla 17 (Córdor, 2018).

Tabla 21. Cantidad de Luminarias y Potencia para cada año.

| Año | Potencia Instalada (MW) | Número de luminarias instaladas |
|------------|--------------------------------|--|
| 2018 | 2,455 | 15647 |
| 2019 | 2,986 | 16308 |

Esta cantidad de luminarias están distribuidas por toda el área de servicio de la EEA correspondiente a los diferentes alimentadores que prestan el servicio de distribución de

energía eléctrica, estas cantidades se muestran en la tabla 18 con su respectiva tasa de falla.

Tabla 18. Cantidad de Luminarias instaladas por Alimentador en el AP de Azogues

| Alimentador | Luminarias | Tasa de falla |
|-------------|------------|---------------|
| 121 | 4116 | 0,00413 |
| 122/222 | 2686 | 0,0108 |
| 123 | 2524 | 0,00951 |
| 124 | 2401 | 0,0025 |
| 221 | 2275 | 0,00747 |
| 223 | 2306 | 0,00781 |
| Total | 16308 | |

De los datos de la tabla 18 el alimentador que da servicio a la zona urbana de la ciudad de Azogues es el 121 con una cantidad de luminarias instaladas de 4116, y que tiene una tasa de falla de 0,00413 muy por debajo por lo exigido por la regulación que es de 0,02, lo cual nos indica la continuidad y la calidad en el SAP.

1.13.2. Calidad de Servicio de Alumbrado Público

La EEA es la distribuidora responsable del AP de la ciudad de Azogues por lo que debe garantizar la continuidad calidad y seguridad del servicio, los parámetros de cumplimiento están dadas en la regulación Arconel 006/18 por lo que todo sistema de AP debe cumplir para garantizar un buen servicio a la ciudadanía (ARCONEL, 2018).

1.13.3. Tasa de falla

Todo sistema está expuesto a sufrir alteraciones en su funcionamiento el AP no es la excepción por lo que las distribuidoras deben llevar un control de las luminarias que presenten falla durante su vida útil, para determinar la tasa de falla se utiliza la ecuación:

$$T_f = \frac{\text{Número de luminarias en falla}}{\text{Número de luminarias instaladas}} \quad 6$$

Para garantizar el servicio la tasa de falla del sistema no debe ser superior al 0,02 (ARCONEL, 2018).

En lo que respecta a las tasas de fallas septiembre 2019 del AP de Azogues se puede observar en la tabla 19 lo cual nos muestra que los valores de tasa de falla están por debajo del valor exigido por la Regulación 006/18 del Arconel.

1.13.4. Reposición del Servicio en Luminarias

La Regulación establece que las luminarias consideradas en falla se deben ser reparadas y puestas en servicio tomando en cuenta la hora del reclamo los siguientes tiempos (ARCONEL, 2018):

- Zona Urbana: 48 horas
- Zona Rural: 72 horas

CAPITULO 2

DETERMINACIÓN DE LA DPEA

En el presente capítulo se calcula la Densidad de Potencia Eléctrica para el alumbrado público (DPEA) de las vías del casco urbano de Azogues, siendo la DPEA un índice energético que permite evaluar y analizar el estado del sistema de alumbrado público.

Este índice energético nos ayuda a tener sistemas regulados, de calidad y energéticamente eficientes. Manteniendo el rango de iluminancia requerido según la característica o necesidades de cada vía, durante el estudio, diseño o modificación de un sistema de alumbrado público.

2.1. CÁLCULO DE LA DPEA.

El cálculo de la DPEA se determina a partir de la carga total conectada para alumbrado y del área total a iluminar, donde la carga total conectada para alumbrado está expresada en vatios (W) y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado (m²) y su unidad de medida es W/m². Fórmula 4 (Energía, 2010).

2.1.1. Consideraciones para el cálculo de la DPEA.

Para el cálculo de la DPEA se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (Energía, 2010).:

- No incluir las áreas destinadas a aceras o parterres en el cálculo de la DPEA, si en el estudio o diseño no los considera áreas como objeto a iluminar.
- En el caso de los equipos para alumbrado que requieran el uso de balastos u otros dispositivos auxiliares para su operación, se considera un consumo del 10% de la potencia de la lámpara.

2.1.2. Metodología.

La metodología aplicada en el cálculo de la DPEA corresponde a la indicación propuesta en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) en la sección 510.6 “Uso racional de energía en alumbrado público” y el procedimiento de mediciones se establece en el presente trabajo de titulación:

2.1.2.1. Cálculo de área de las vías del casco urbano de la ciudad de Azogues.

Para el cálculo de del área de cada una de las arterias viales que conforman el casco urbano de la ciudad de Azogues, se determina a partir de la información recabada en la plataforma Geo portal proporcionada por el departamento de Operación y Mantenimiento, en el cual se encuentra información geográfica como infraestructuras de datos espaciales, todo esto desarrollada en ArcGIS.

Dentro de este Geo portal podemos encontrar todas las arterias viales que forman parte de la concesión de la Empresa Eléctrica Azogues, tipo de luminarias instaladas, potencia de cada una de ellas, así como también, toda la infraestructura y equipos eléctricos presente en cada una de las vías.

En la figura 3, se observa el Geo portal de la empresa eléctrica Azogues, donde se nota su área se concesión marcada con rojo y respectivas delimitaciones fronterizas.

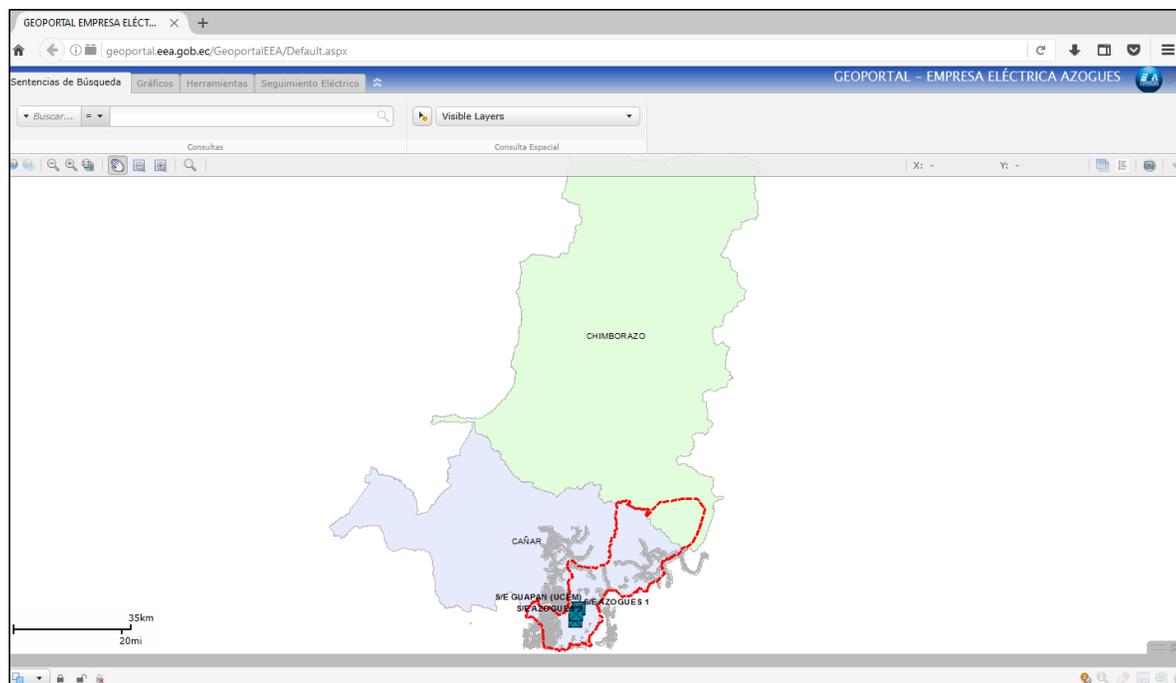


Gráfico 3. Geo portal y concesión de la empresa eléctrica Azogues.

Se define el casco urbano de la ciudad de Azogues desde el centro de Azogues (parque central) hasta las vías que conducen a las parroquias urbanas pertenecientes al cantón Azogues, una vez definido el área urbana se procede a la medición del área de cada una de las vías, para lo cual necesitamos obtener las medidas del ancho de la calzada y longitud vial de la misma.

Para obtener las mediciones respectivas seguimos los siguientes pasos:

Paso 1: Entramos el Geo portal de la Empresa, una vez abierto se selecciona la vía de medición, en este caso se toma la Av. Hno. Miguel, figura 4, 5.

3. Hacemos clic en las unidades de medida, donde se nos desplegara millas, kilómetros, pies y metros.
4. Seleccionamos metros, en nuestro caso para facilitar las operaciones de cálculo.

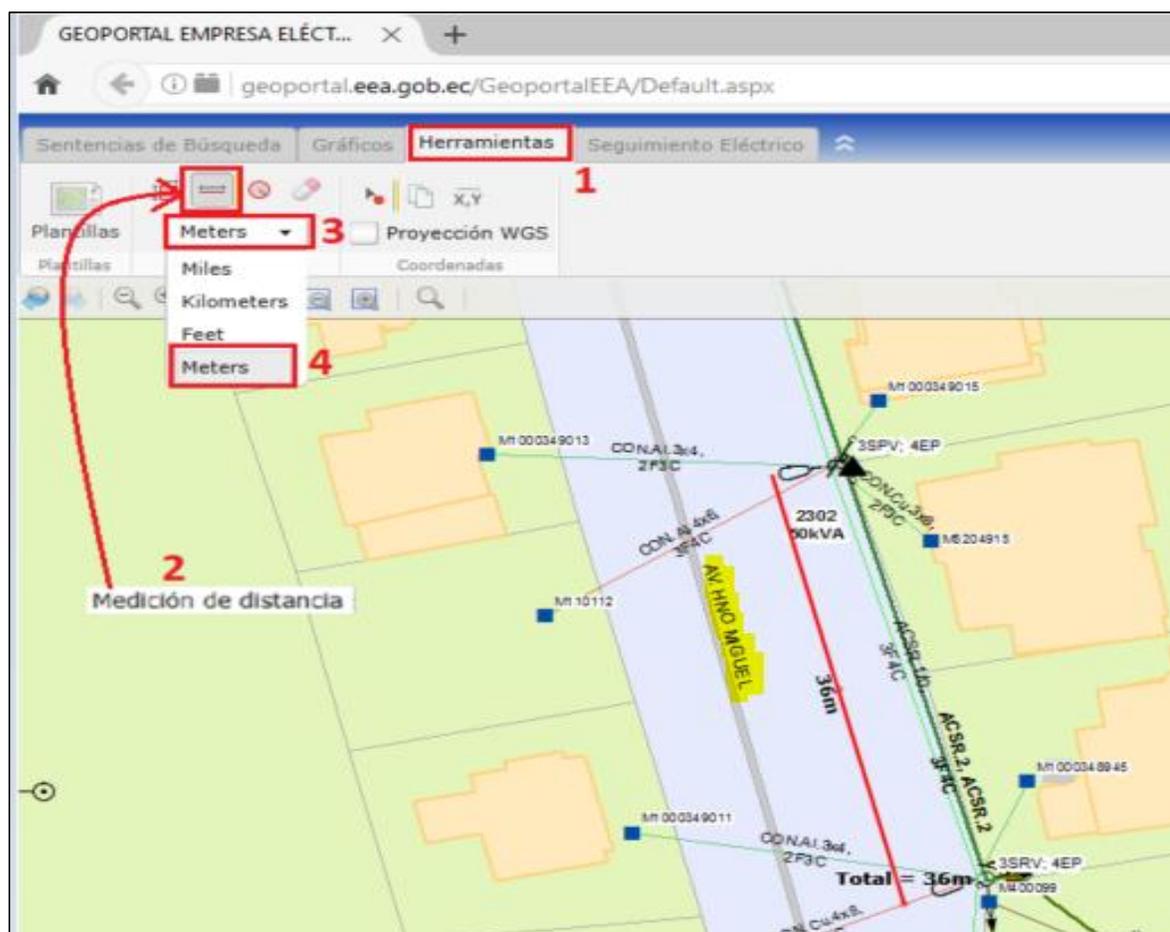


Gráfico 6. Pasos para medir la longitud vial seleccionada.

Como se muestra en el gráfico 6, esta numerada los puntos a seguir y una muestra de medición de una luminaria a otra la cual da como resultado 36 metros.

Para obtener el dato de la longitud total de la vía se toma medidas de luminaria a luminaria para más precisión, la misma herramienta nos permite conocer la distancia total desde la primera luminaria de la vía hasta la última tomada en sentido norte sur.

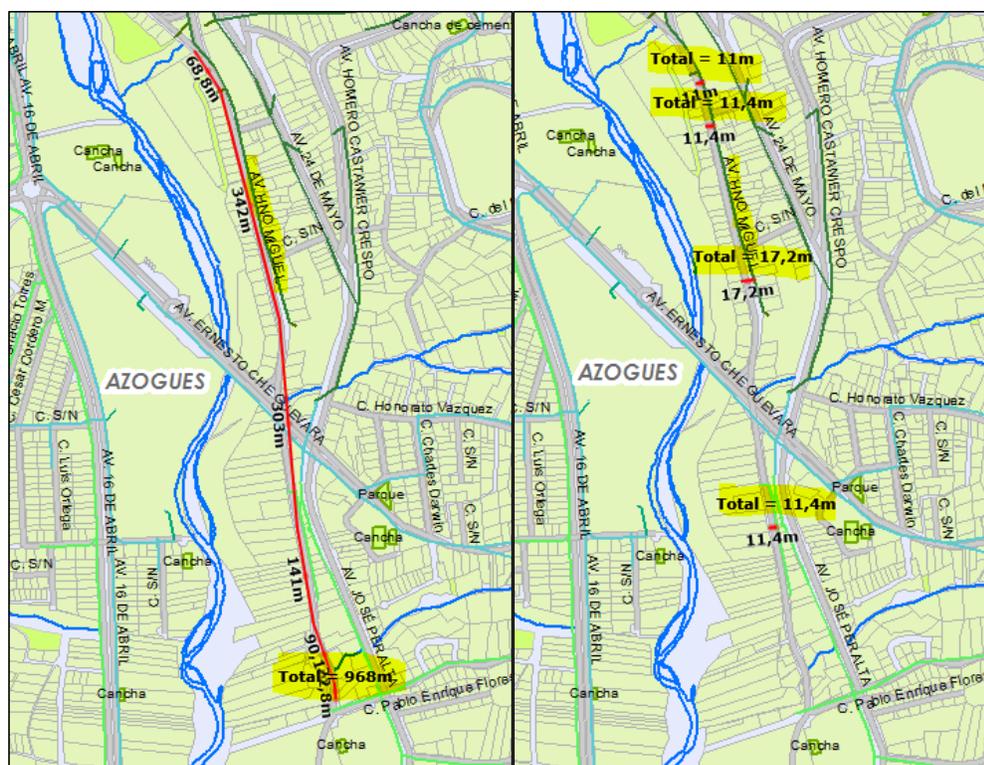


Gráfico 7. Longitud total vial medida y ancho de la calzada.

Para obtener el ancho de la calzada de la vía seleccionada, figura 7, aplicamos el mismo método que para la longitud, con una pequeña variación, como la vía es irregular, es decir, no tiene el mismo ancho de la calzada, por lo tanto, se procede a tomar varias muestras según lo requiera la vía para al final sacar un promedio y aplicar ese dato para el cálculo.

2.1.3. Cálculo de la potencia de luminarias.

Otro de los datos para el cálculo de la DPEA es la potencia instalada del alumbrado público. Gráfico 8. Para lograr obtener estos datos seguimos los siguientes pasos:

Paso 1: Entramos al Geo portal de la empresa.

Paso 2: Una vez dentro del Geo portal:

1. Por defecto nos encontramos en la opción Sentencias de Búsqueda allí hacemos clic en Visible Layers.
2. En Visible Layers se desplegará varias opciones en la cual seleccionamos Equipos.
3. Dentro de Equipos seleccionamos Luminarias.
4. Una vez realizado todos los pasos, seleccionamos las luminarias de las cual nos interesa conocer su potencia, en este caso de la Av. HNO. Miguel, se marcará en una circunferencia de color rojo, según el número de luminarias seleccionadas.

Posteriormente en la parte inferior izquierda aparecerá una venta con el título de “Luminarias” y el número de luminarias hacemos clic y se desplegará el listado de luminarias especificando el código de luminaria, alimentador al que está conectada, provincia, cantón y parroquia a la que pertenece, fase de conexión, subtipo, entre otros ítems. Y la potencia de la luminaria, gráfico 8, 9.

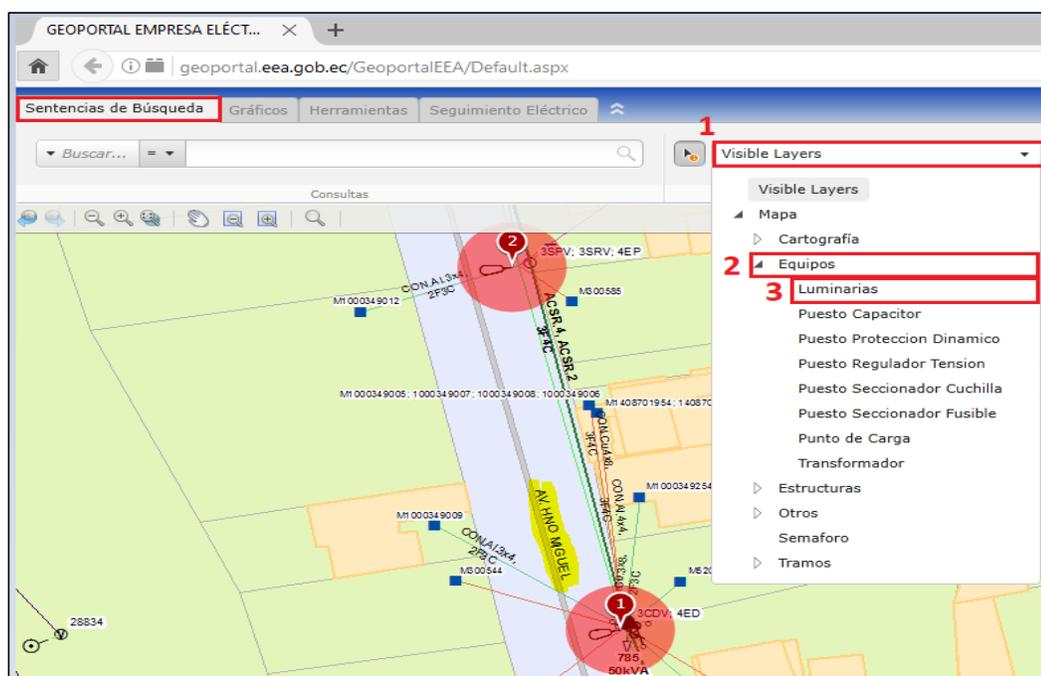


Gráfico 8. Pasos para obtener los datos de las potencias de las luminarias instaladas.

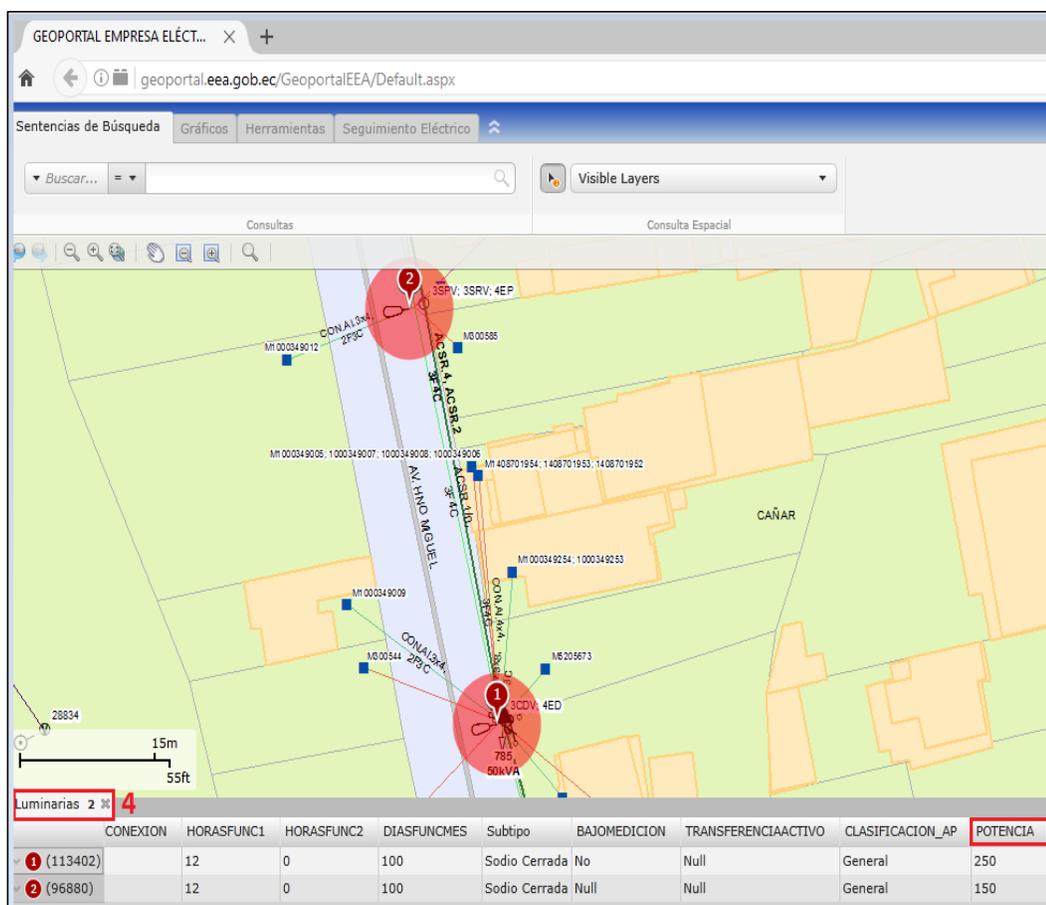


Gráfico 9. Pasos para obtener los datos de las potencias de las luminarias instaladas.

2.1.4. Cálculo de la DPEA.

Con las medidas de longitud y ancho de la vía se procede a multiplicar ambos datos obteniendo el área total de la vía. Se selecciona todas las luminarias que estas instaladas en el tramo a analizar, se procede a sumar cada una de las potencias de las luminarias obteniendo de esta manera la potencia total instala.

Una vez obtenido los dos datos requeridos se procede a calcular la DPEA, aplicando la ecuación 4, obteniendo los siguientes valores. Tabla 19.

Tabla 22. Valores obtenidos de la DPEA de la Av. HNO. Miguel.

| <i>#</i> | <i>de Potencia</i> | <i>Longitud</i> | <i>Ancho de</i> | <i>Área (m²)</i> | <i>DPEA</i> |
|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| <i>Luminarias</i> | <i>Instalada</i> | <i>vial (m)</i> | <i>la</i> | | <i>(W/m²)</i> |
| | <i>(W)</i> | | <i>Calzada</i> | | |
| | | | <i>(m)</i> | | |
| 26 | 4840 | 968 | 12,75 | 12342 | 0,39 |

2.1.4.1. Error en las mediciones de la longitud vial y ancho de la calzada.

Como todo valor obtenido en cualquier equipo de medición o en este caso valores obtenidos, a través, del Geo portal está sujeta a un margen de error de medición, para verificar nuestro margen de error se procede a realizar las respectivas mediciones en el campo, para lograr contrastar con las obtenidas en el Geo portal. Anexo 2. Tabla 20.

Tabla 23. Contraste de valores entre los del Geo portal y del campo.

| <i>#</i> | <i>de Potencia</i> | <i>Longitud</i> | <i>Ancho de</i> | <i>Área (m²)</i> | <i>DPEA</i> | |
|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|------|
| <i>Luminarias</i> | <i>Instalada</i> | <i>vial (m)</i> | <i>la</i> | | <i>(W/m²)</i> | |
| | <i>(W)</i> | | <i>Calzada</i> | | | |
| | | | <i>(m)</i> | | | |
| Geo portal | 26 | 4840 | 968 | 12,75 | 12342 | 0,39 |
| Campo | 26 | 4840 | 969 | 13 | 12597 | 0,38 |
| Error % | | | 0,10 | 1,92 | 2,02 | |

Se observa en los resultados de la tabla , que las medidas obtenidas en el campo no varían en gran valor a las del Geo portal, de acuerdo con el artículo: “Tamaño de la muestra” realizado por Carlos Ochoa (Gerente de Marketing e Innovación en Netquest) el margen de error máximo que puede haber entre mediciones debe de ser menor al 5%, en nuestro caso el error de medición es menor de 3%, por lo tanto, los valores obtenidos en el Geo portal son viables para el presente estudio (Ochoa, 2015).

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LA DPEA

En este capítulo se procede al análisis de los valores obtenidos en el capítulo previo de la DPEA, logrando así distinguir, primero las vías que forman parte del casco urbano de la ciudad de Azogues y posteriormente identificar las vías que cumplan o no con los niveles fotométricos requeridos para cada tipo de vía, luego plantear alternativas o soluciones para lograr un sistema de alumbrado público racional, de calidad y eficiencia energética.

3.1. NIVEL DE ILUMINANCIA PROMEDIO

El nivel de iluminancia promedio es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa hacia una superficie, en nuestro caso es la cantidad de flujo luminoso que percibe la calzada de las vías de la ciudad de Azogues, esta varía de una calle a otra dependiendo de la cantidad de luminarias implementadas para la iluminación de esta y del área a iluminar. A continuación, se procede a describir los métodos de cálculo de iluminancia promedio de una vía y respectivo ejemplo implementado en las vías de Azogues (Molina y Arévalo, 2013).

3.1.1. Métodos de Cálculo de iluminancia promedio de una vía.

Para realizar el cálculo, primero se debe realizar mediciones, a través, del instrumento de medición de iluminancia llamado luxómetro el cual mide la densidad de flujo luminoso aplicada en una superficie, su unidad de medida es los luxes ($1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen} / \text{m}^2$).

Donde:

S: superficie.

E iluminancia.

Φ flujo luminoso.

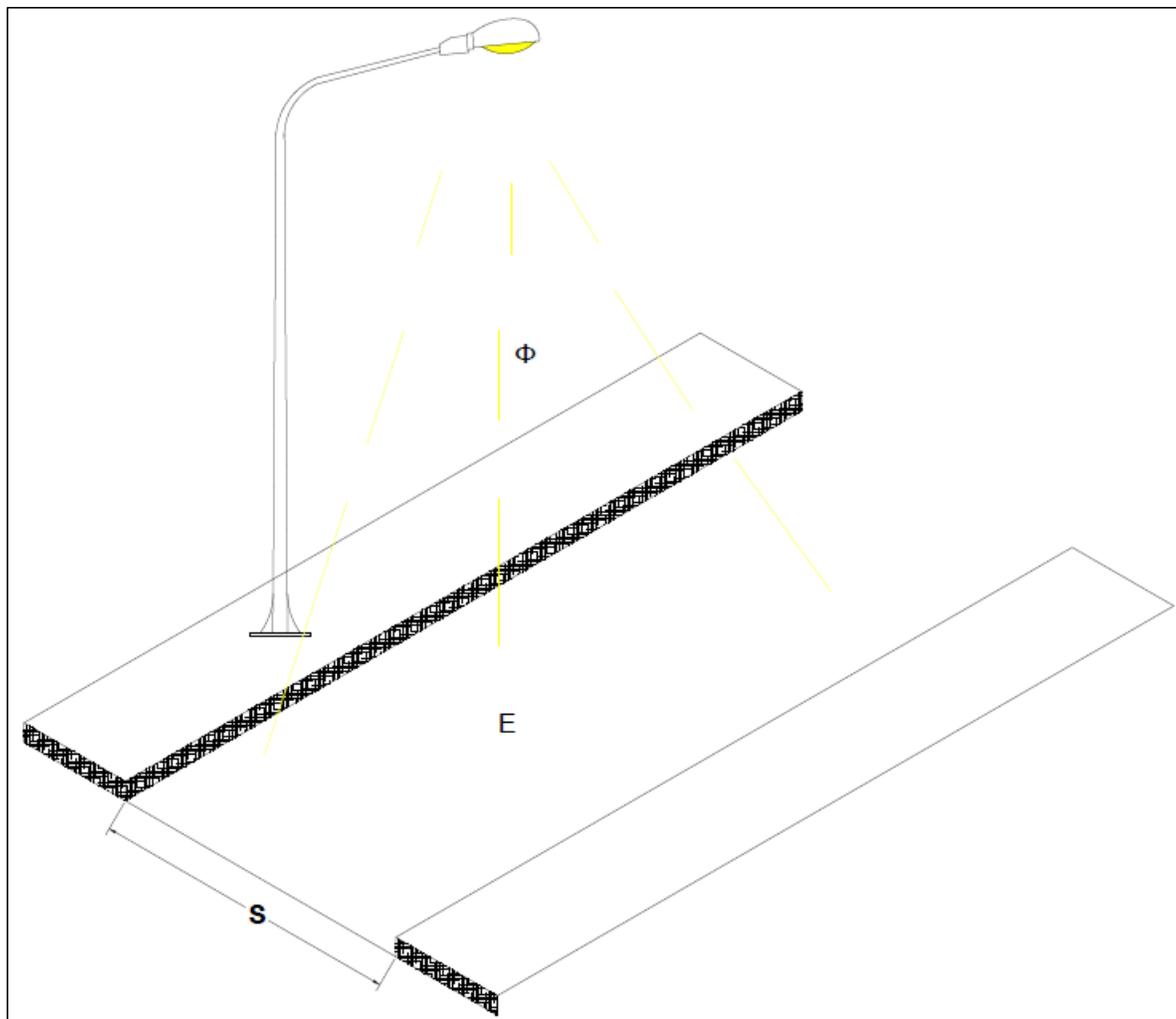


Gráfico 10. Descripción gráfica de cómo se aplica el flujo luminoso sobre una superficie.

Se describe cada uno de los métodos de cálculo de la iluminancia promedio de una vía:

3.2. MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS.

El método europeo de los 9 puntos es utilizado para calcular la Iluminancia promedio que genera el sistema de alumbrado público sobre una vía, para lograrlo se debe ubicar cada uno de los puntos de cálculo sobre una porción de la vía considerada, obteniendo la figura de un rectángulo de largo ($L/2$) y ancho (A). De esta manera, dicho rectángulo se

divide en cuatro partes, dos longitudinales y dos transversales, de esta manera los puntos donde se debe realizar las mediciones con el luxómetro serán las intersecciones de las líneas longitudinales, transversales y los vértices de dichos rectángulos de dimensiones $(H/2)$ $((L/2)/2)$, obteniendo los 9 puntos de medición, figura 11.

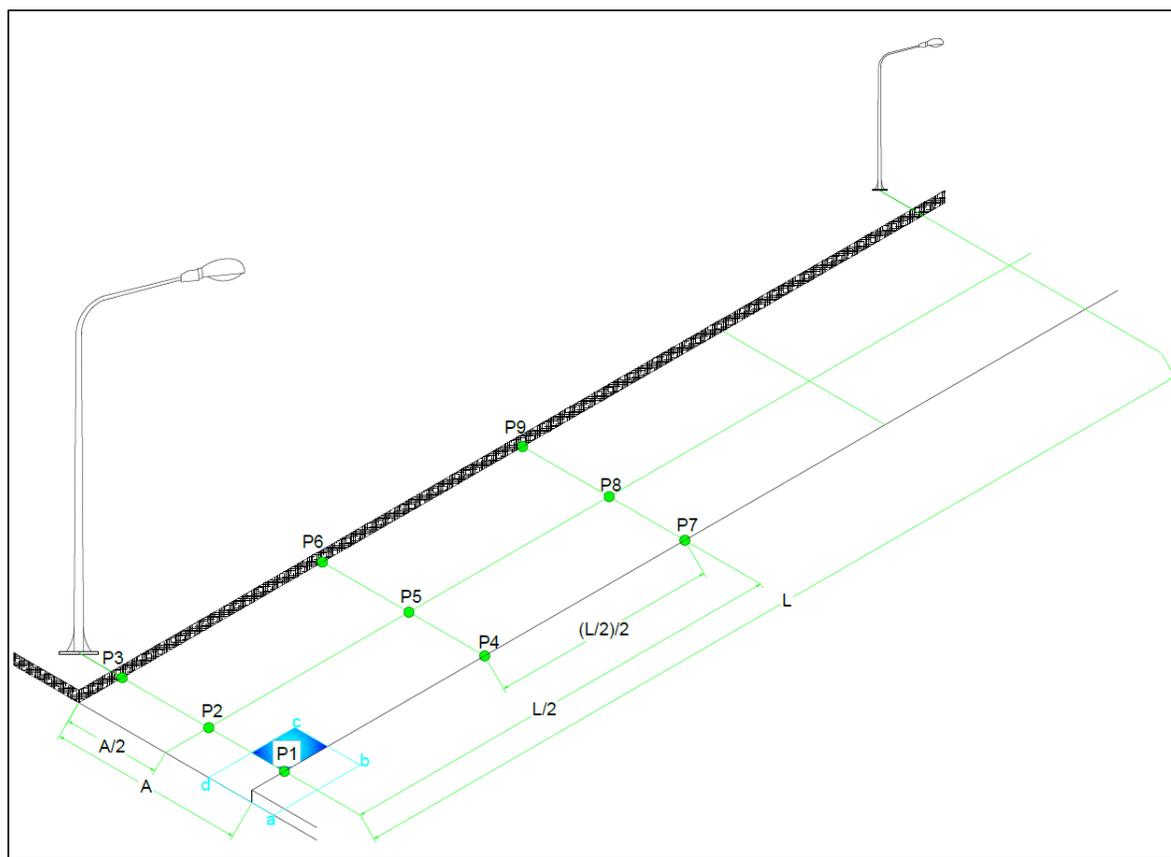


Gráfico 11. Descripción del método europeo de los 9 puntos.

Una vez obtenido los puntos se considera las aportaciones de iluminancia de cada uno de estos puntos a la porción de la vía, así, los puntos extremos (P1, P3, P7, P9) cada uno de estos puntos posee un área a, b, c y d, debido a que una cuarta parte del área (área sombreada c) corresponde al área de la vía de estudio da una contribución del 0.25, los puntos intermedios (P2, P4, P6, P8) cada uno de estos puntos posee una iluminación del 50% de su área perteneciente a la vía por lo que tiene una contribución del 0.5, el único punto que se diferencia de todos es (P5) en este punto la contribución es de 1, debido a que es el punto central donde existe una iluminancia del 100% que pertenece a la vía.

A partir de este razonamiento se aplica la siguiente fórmula para obtener la iluminancia promedio de una vía.

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(P_1 + P_3 + P_7 + P_9) + 2 \times (P_2 + P_4 + P_6 + P_8) + 4 \times P_5] \quad 7$$

La posición de los puntos de medición varía según los siguientes criterios:

Dependerá de las características de la vía y disposición del alumbrado público, a continuación, se observa la ubicación de estos puntos, tomando en cuenta los criterios anteriores, figura 12.

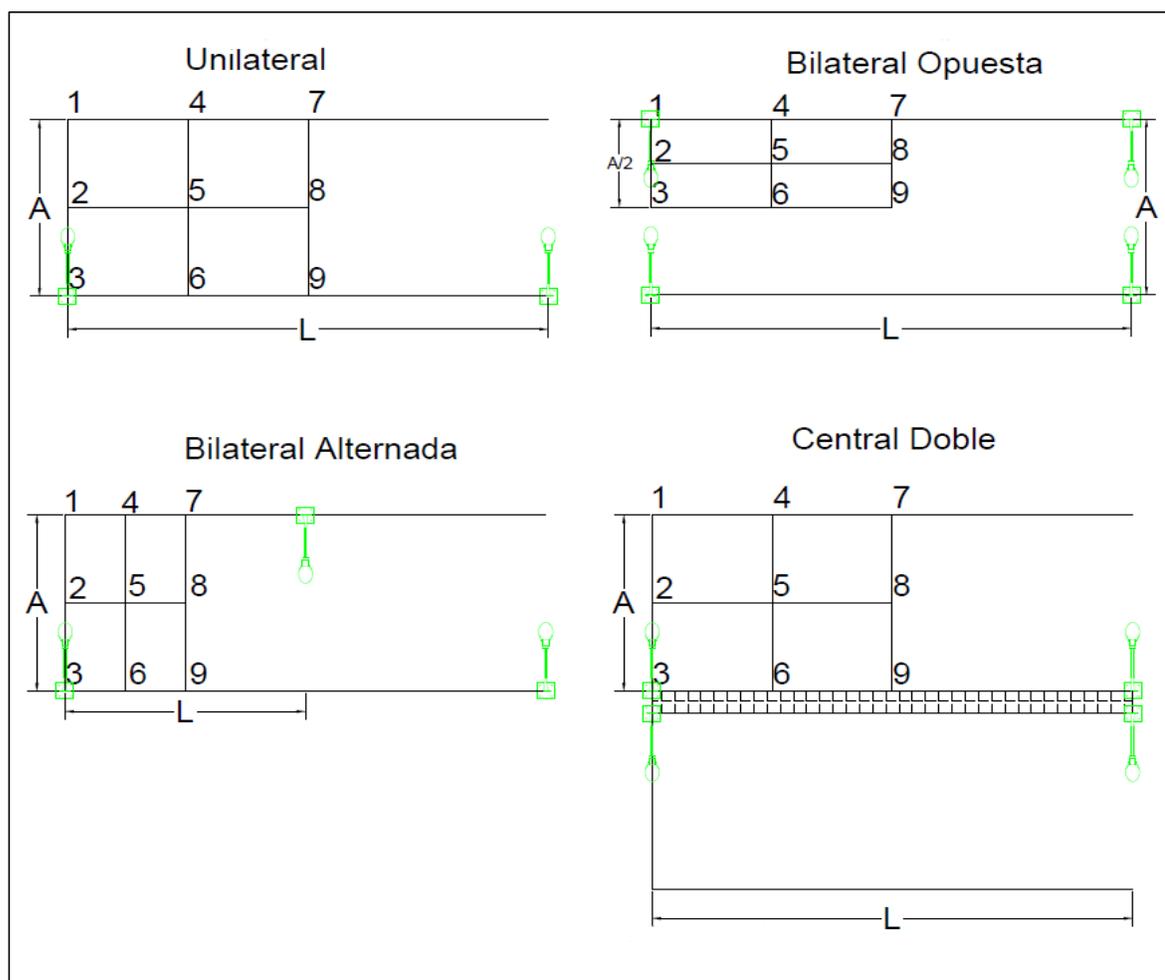


Gráfico 12. Posición de los puntos según las características de la vía y disposición del alumbrado público.

3.3. MÉTODO CÁLCULO COMPUTARIZADO DE ILUMINANCIA.

Este es otro método para el cálculo de iluminancia promedio de una vía, este tipo de cálculo también conocido como el método de malla, consiste como su nombre lo indica en realizar una malla sobre la vía de estudio. Este método en comparación con el de los 9 puntos tienen un incremento en el número de puntos ya que con el de los 9 puntos es un límite de aproximación (Energía, 2010).

La fórmula aplicada en este método es:

$$E_h = \frac{\sum I(\gamma)}{n} \quad 8$$

En donde:

E_h = iluminancia horizontal mantenida en el punto, en luxes.

$I(\gamma)$ = intensidad en luxes emitida por la luminaria en la dirección del punto.

n = número de puntos.

Campo de cálculo.

El campo de cálculo debe ser seleccionada de una sección de la vía de beneficio para el conductor como para el peatón, en el cual puede incluir aceras, ciclo vías, zonas peatonales entre otras, según el interés del estudio. Como se muestra en la figura 13, el área de estudio se define desde las líneas transversales que van de una luminaria a otra en forma consecutiva esa será la longitud (L) y limitadas por los bordillos de las aceras o depende del estudio a realizar ese será el ancho (A).

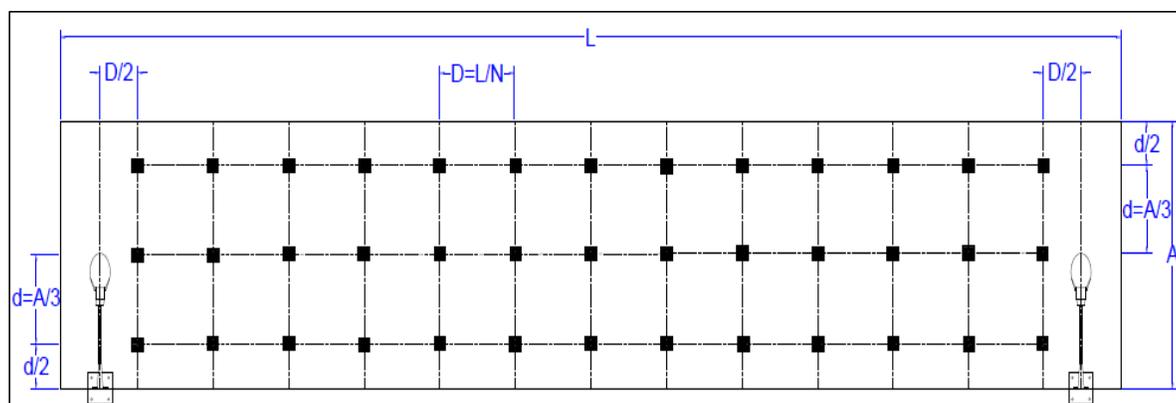


Gráfico 13. Posición de los puntos longitudinales y transversales en el campo de cálculo.

Posición de los puntos de cálculo.

Los puntos de medición se deben espaciar de manera uniforme en el campo de cálculo como se muestra en la figura 13, y el número de puntos se define a continuación:

En dirección longitudinal la distancia de punto a punto se determina a partir de la siguiente formula:

$$D = \frac{L}{N} \quad 9$$

En donde

D = distancia de punto a punto en dirección longitudinal.

L = distancia que existe de luminaria a luminaria (m).

N = número de puntos de cálculo en dirección longitudinal con los siguientes valores:

Para $L \leq 30$ m, $N = 10$, para $L > 30$ m, se elige el entero menor para obtener $D \leq 3$ m.

El espacio para los puntos en sentido longitudinal desde el bordillo al campo de cálculo se determina a partir de $D/2$ (m), figura 13.

En dirección transversal de punto a punto se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$d = \frac{A}{3} \quad 10$$

En donde

d = distancia de punto a punto en dirección transversal.

A = distancia de la calzada de bordillo a bordillo o área de estudio (m).

Para la primera fila de puntos en dirección transversales de cálculo se colocan a una distancia d/2 cerca de la primera luminaria (m), figura 13.

Ejemplo de aplicación.

Una vez analizado los métodos de cálculo de iluminancia promedio, se procede a analizar dos vías de la ciudad de azogues, la una vía donde esta implementada alumbrado público con luminaria LED y la otra con implementación de luminaria de Sodio Cerrada (NA).

3.3.1. MEDICIÓN DE ILUMINANCIA DE LUMINARIA LED.

A continuación, se procede a la medición de iluminancia de luminaria LED seleccionada de la vía de Azogues, los métodos de medición aplicados son: El método europeo de los 9 puntos y método de cálculo computarizado de iluminancia.

La calle seleccionada para aplicar los respectivos métodos de medición es la C. Oriente la cual consta con luminaria led de 180W, de 907m longitudinales de vía, un promedio de 12.69m de ancho de la calzada (incluye aceras) y un área de 11506 m², tabla 21.

Tabla 24. Datos de la vía seleccionada.

| Calle | # de luminarias | Potencia c/a (W) | Potencia total (W) | Longitud (m) | Ancho (m) | Área (m ²) |
|------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------|-----------|------------------------|
| C. Oriente | 31 | 180 | 5580 | 907 | 12,69 | 11506 |

3.3.2. MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS.

Para el método de los 9 puntos se toma un tramo de la vía figura 14, 15, luego se selecciona una luminaria, y se procede a la medición de la vía para ubicar los puntos en los que se debe ubicar el luxómetro para posteriormente realizar la medición de iluminancia de la vía.



Gráfico 14. Área de medición seleccionada (GIS).

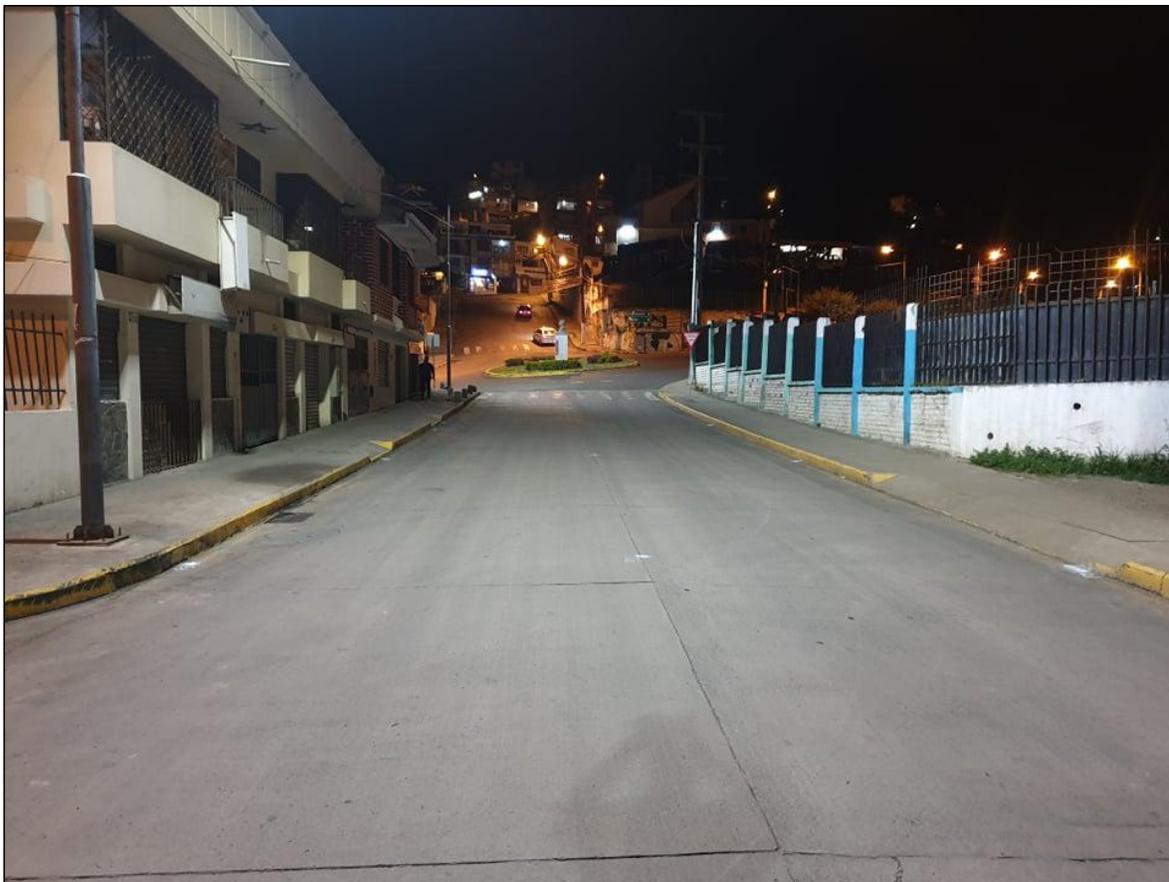


Gráfico 15. Área de medición seleccionada en el campo.

A la luminaria tomada 1 se mide la distancia que existe hacia la otra luminaria 2 esa será L , la mitad de esa distancia será la longitud del rectángulo ($L/2$), luego se mide el ancho de la vía y por ende la mitad de esta, logrando así obtener un rectángulo con 9 puntos como se observa en la figura 16, el área total del rectángulo de esta vía es de 148 m²

Estos rectángulos para la medición de la iluminancia varían según la topología de la vía, en este caso quedaría de la siguiente manera.

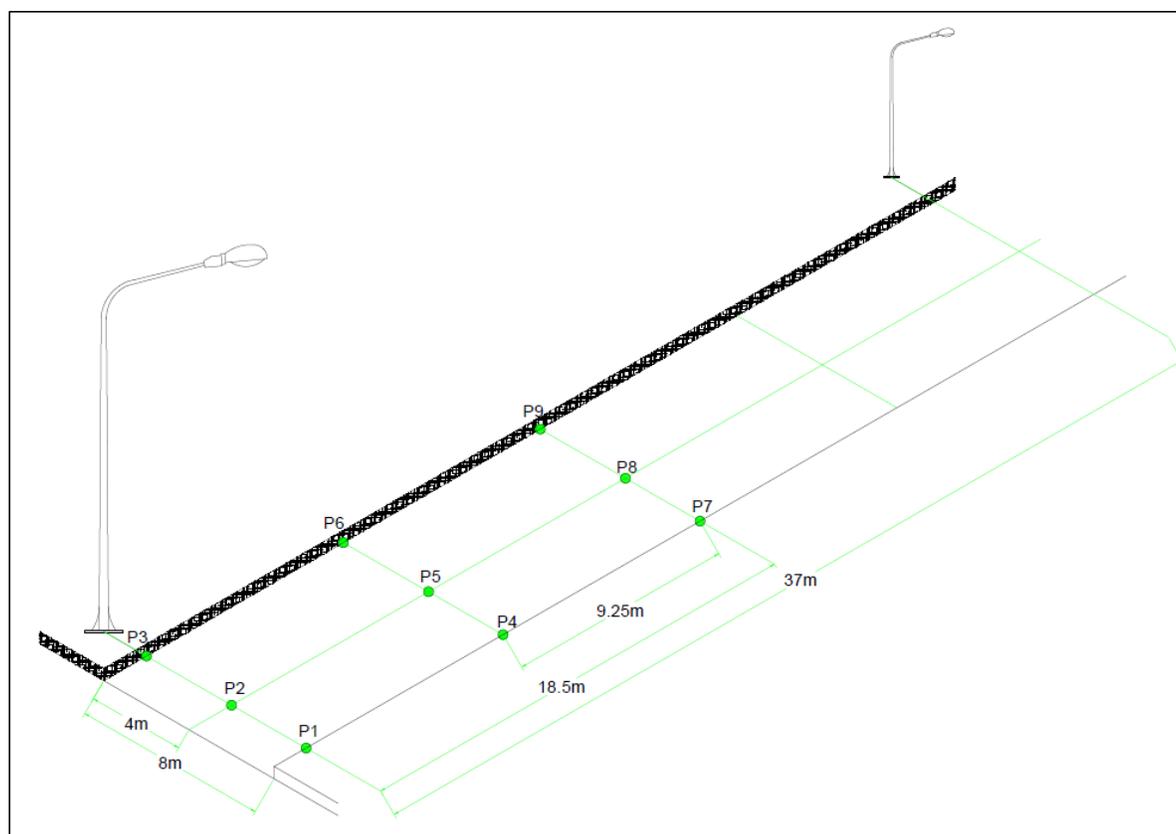


Gráfico 16. Puntos de medición.

Tabla 25. Medidas del rectángulo para ubicar los puntos de medición de iluminancia.

| <i>Topología</i> | <i>Distancia entre luminarias (m)</i> | <i>Interdistancia de luminaria (m)</i> | <i>Mitad de rectángulo (m)</i> | <i>Ancho de vía (m)</i> | <i>Mitad ancho de vía (m)</i> |
|------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Unilateral | 37 | 18,5 | 9,25 | 8 | 4 |

Una vez localizado los puntos se procede a colocar el instrumento de medición de iluminancia, en este caso el luxómetro, el cual debe colocarse a nivel cero (superficie de la calzada) figura 17, logrando obtener en cada uno de los puntos las respectivas mediciones de iluminancia máxima y mínima para lograr tener una mayor exactitud en el método empleado, tabla 23.



Gráfico 17. Puntos de medición tomados en el campo.

Tabla 26. Valores obtenidos de iluminancia.

| C. Oriente | E max (lx) | E min (lx) |
|------------|------------|------------|
| P1 | 48,6 | 47,7 |
| P2 | 72,2 | 65,2 |
| P3 | 67,1 | 50 |
| P4 | 31,4 | 28,6 |
| P5 | 33,6 | 32 |
| P6 | 26,7 | 26,7 |
| P7 | 19,5 | 16,1 |
| P8 | 13,1 | 12,6 |
| P9 | 9,3 | 9,1 |

Por último, aplicamos la fórmula, que corresponde para obtener la iluminancia promedio de la vía, obteniendo:

Tabla 27. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía.

| | | E max (lx) | E min (lx) |
|---|-------|------------|------------|
| E | Total | 35,36 | 32,32 |
| | (lx) | | |
| E | Prom | 33,84 | |
| | (lx) | | |

lx = 1 lumen/ m²

3.3.3. MÉTODO DE MALLA.

Este es otro método para el cálculo de iluminancia, al igual que el anterior consiste en medir la vía para ubicar los puntos en los que se debe ubicar el luxómetro para posteriormente realizar la medición de iluminancia de la vía, con la diferencia que este método incorpora dos luminarias lo que conlleva a un incremento de los puntos de medición de iluminancia y del área de estudio que es de 296 m².

Aplicando las fórmulas revisadas anteriormente para la posición de los puntos de cálculo tanto longitudinales como transversales se obtiene los siguientes datos, figura 18, tabla 25, 26.

En la dirección longitudinal.

Tabla 28. Medidas longitudinales para la malla.

| Topología | Distancia entre luminarias [L(m)] | # de puntos longitudinales [N(m)] | Espacio longitudinal (D) | D/2 (m) |
|------------|--|---|--------------------------------|---------|
| Unilateral | 37 | 13 | 2,85 | 1,42 |

En la dirección transversal

Tabla 29. Medidas transversales para la malla.

| Ancho de la vía [A(m)] | A/2 (m) | d= A/3 (m) | d/2 (m) |
|------------------------|---------|------------|---------|
| 8 | 4 | 2,67 | 1,33 |

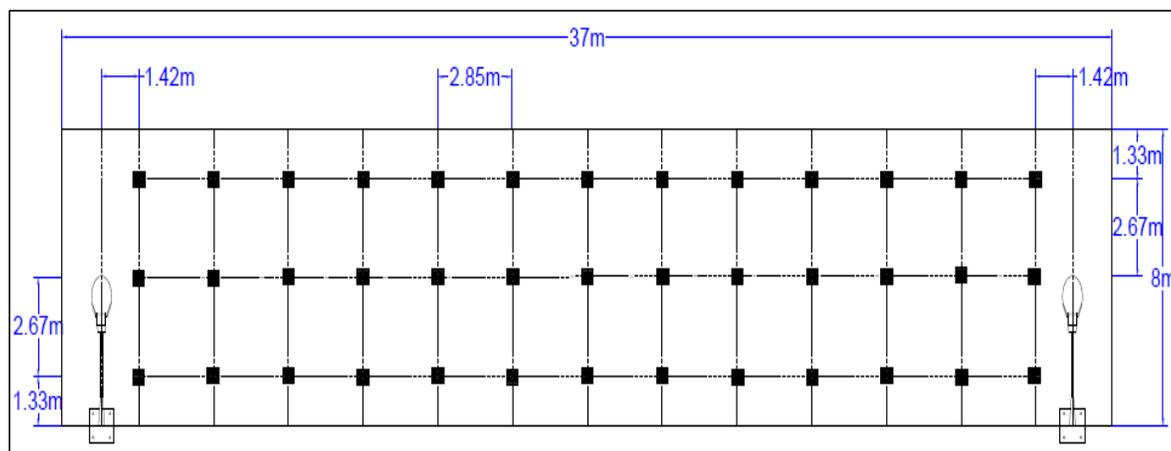


Gráfico 18. Puntos de cálculo para la Iluminancia.

Una vez localizado los puntos se procede a colocar el instrumento de medición de iluminancia, en este caso el luxómetro, el cual debe colocarse a nivel cero (superficie de la calzada) figura 19, logrando obtener en cada uno de los puntos las respectivas mediciones de iluminancia máxima y mínima para lograr tener una mayor exactitud en el método empleado. Logrando obtener los siguientes datos, tabla 27.



Gráfico 19. Puntos de medición tomados en el campo.

Tabla 30. Valores obtenidos de iluminancia.

| C. Oriente | E max (lx) | E min (lx) |
|------------|------------|------------|
| P1 | 64 | 63,7 |
| P2 | 65,6 | 65 |
| P3 | 59,6 | 51,7 |
| P4 | 54,3 | 54 |
| P5 | 54,4 | 53,6 |
| P6 | 45,7 | 45,4 |
| P7 | 39,6 | 39,5 |
| P8 | 43,3 | 42,9 |
| P9 | 36 | 35,6 |
| P10 | 28,7 | 27,6 |
| P11 | 31,3 | 31,2 |
| P12 | 29,3 | 29,3 |
| P13 | 19,8 | 19,2 |
| P14 | 22,7 | 22,5 |
| P15 | 22,5 | 22,3 |
| P16 | 14,5 | 14,1 |

Tabla 31. Valores obtenidos de iluminancia.

| C. Oriente | E max (lx) | E min (lx) |
|------------|---------------|---------------|
| P17 | 16,3 | 16,2 |
| P18 | 17,3 | 17 |
| P19 | 11 | 10,8 |
| P20 | 13,5 | 13,1 |
| P21 | 15,6 | 15,4 |
| P22 | 9 | 9 |
| P23 | 12,3 | 12,3 |
| P24 | 14,8 | 14,8 |
| P25 | 8,1 | 8 |
| P26 | 14,4 | 14,2 |
| P27 | 17,5 | 17,5 |
| P28 | 12,4 | 12,3 |
| P29 | 19,5 | 19,4 |
| P30 | 21,6 | 21,6 |
| P31 | 22,6 | 22,5 |
| P32 | 27,2 | 27,1 |
| P33 | 27 | 27 |
| P34 | 36,5 | 36,5 |
| P35 | 39,7 | 38,6 |
| P36 | 30,9 | 30,9 |
| P37 | 54,7 | 54,5 |
| P38 | 53 | 52,7 |
| P39 | 42,1 | 42,1 |

Por último, aplicamos la formula, que corresponde para obtener la iluminancia promedio de la vía, obteniendo:

Tabla 32. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía.

| | E_h (lx) | max | E_h (lx) | min |
|------------|---------------|-----|---------------|-----|
| E_h | 29,96 | | 29,52 | |
| Total (lx) | | | | |
| E_h | | | 29,74 | |
| Prom (lx) | | | | |

lx = 1 lumen/ m²

3.4. MEDICION DE ILUMINANCIA DE LUMINARIA DE SODIO CERRADA (NA).

A continuación, se procede a la medición de iluminancia de luminaria de sodio cerrada (NA) seleccionada de la vía de Azogues, los métodos de medición aplicados serán los mismo aplicados en luminaria LED.

La calle seleccionada para aplicar los respectivos métodos de medición es la Av. Hno. Miguel la misma que se seleccionó como ejemplo en el capítulo 2 figura 20, 21, la cual consta en su mayoría con luminaria de sodio cerrada (NA) de 250W de potencia cada una, de 968m longitudinales de vía, un promedio de 12.75m de ancho de la calzada (incluye aceras), un área de 12342 m², tabla 29.

Tabla 33. Datos de la vía seleccionada.

| Calle | # de luminarias | Potencia c/a (W) | Potencia total (W) | Longitud (m) | Ancho (m) | Área (m ²) |
|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------|-----------|------------------------|
| Av. Hno. Miguel | 26 | 250 | 4840 | 968 | 12,75 | 12342 |



Gráfico 20. Área de medición seleccionada (GIS).



Gráfico 21. Área de medición seleccionada en el campo.

3.4.1. MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS.

Se realiza el mismo procedimiento que en el método de medición de luminarias LED obteniendo los siguientes resultados.

Método Europeo de los 9 puntos:

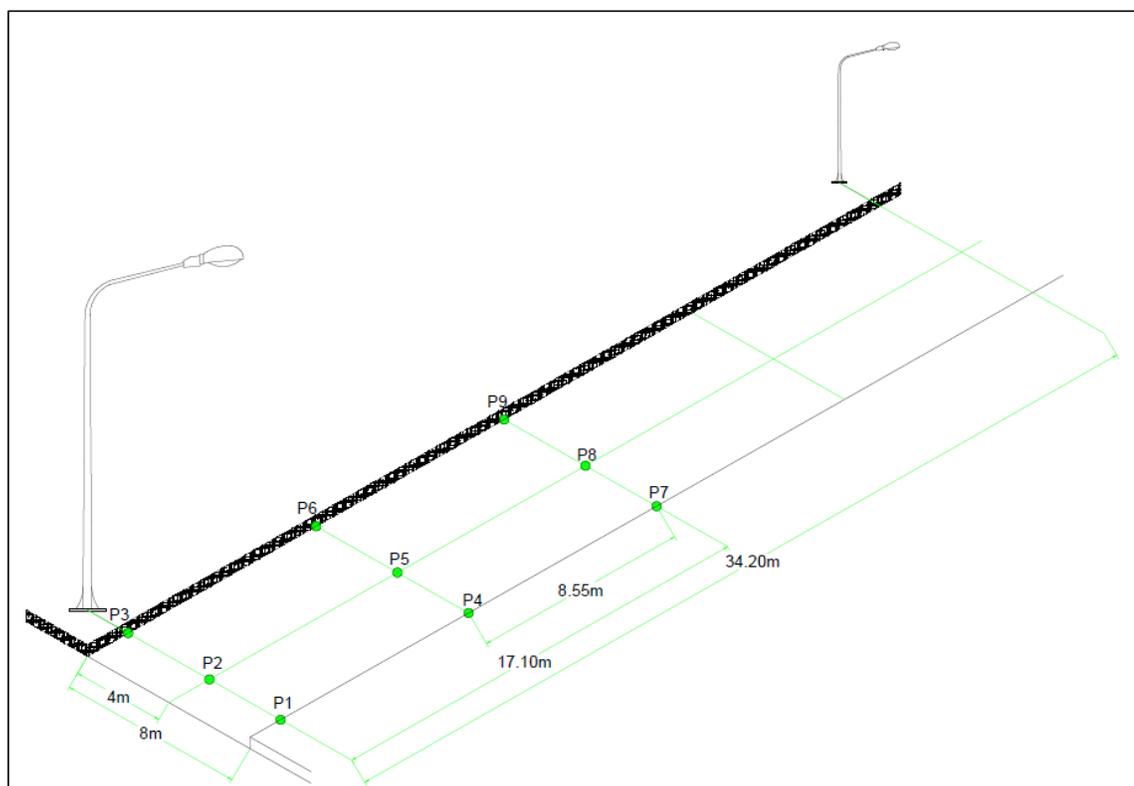


Gráfico 22. Puntos de medición.

Se realiza las mediciones del rectángulo para colocar los puntos donde se medirá la iluminancia.

Tabla 34. Medidas del rectángulo para tomar las mediciones de iluminancia.

| <i>Topología</i> | <i>Distancia entre luminarias (m)</i> | <i>Interdistancia de luminaria (m)</i> | <i>Mitad de rectángulo (m)</i> | <i>Ancho de vía (m)</i> | <i>Mitad ancho de vía (m)</i> |
|------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Unilateral | 34.20 | 17.10 | 8.55 | 8 | 4 |

Una vez localizado los puntos se procede a colocar el instrumento de medición de iluminancia obteniendo:

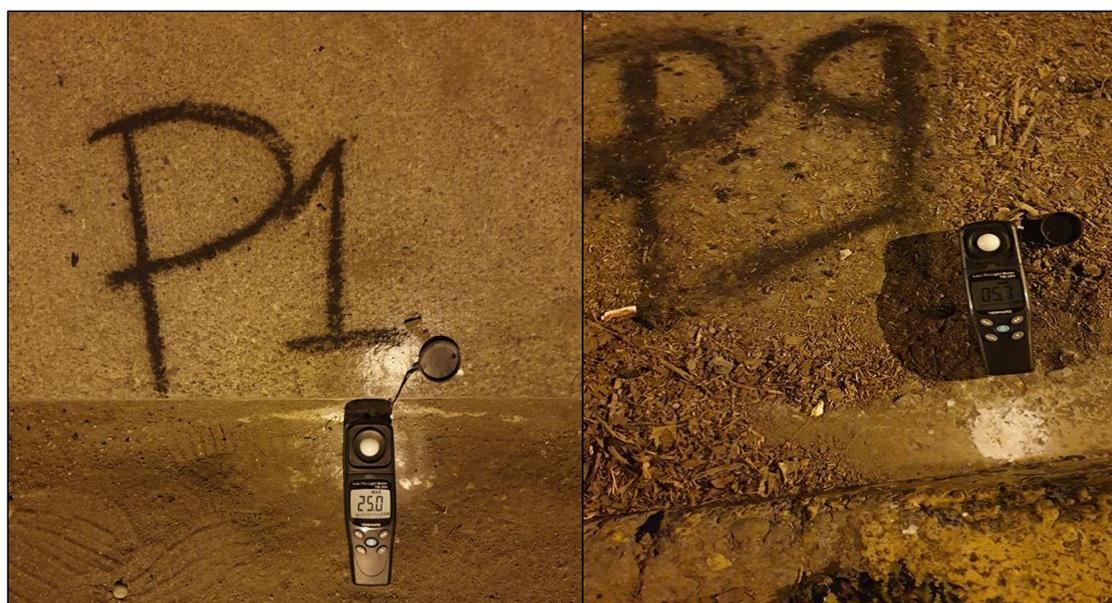


Gráfico 23. Puntos de medición tomas en el campo.

Tabla 35. Valores obtenidos de iluminancia.

| Hno. | E max (lx) | E min (lx) |
|--------|------------|------------|
| Miguel | | |
| P1 | 25 | 24,4 |
| P2 | 42,5 | 41,8 |
| P3 | 32,9 | 32,7 |
| P4 | 16,9 | 16,6 |
| P5 | 17,2 | 17,2 |
| P6 | 12,2 | 12,1 |
| P7 | 13,5 | 13,4 |
| P8 | 11,6 | 11,4 |
| P9 | 5,7 | 5,7 |

De la misma forma aplicamos la ecuación obteniendo como resultado:

Tabla 36. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía.

| | E max (lx) | E min (lx) |
|----------|------------|------------|
| E Total | 19,52 | 19,30 |
| (lx) | | |
| E | | 19,41 |
| Prom(lx) | | |

3.4.2. MÉTODO DE MALLA.

Se realiza el mismo procedimiento que en el método de medición de luminarias LED obteniendo los siguientes resultados.

Aplicando las fórmulas revisadas anteriormente para la posición de los puntos de cálculo tanto longitudinales como transversales se obtiene los siguientes datos, figura 24, tabla 33, 34.

En la dirección longitudinal.

Tabla 37. Medidas longitudinales para la malla.

| Topología | Distancia entre luminarias [L(m)] | # de puntos longitudinales [N(m)] | Espacio longitudinal (D) | D/2 (m) |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------|
| Unilateral | 34.20 | 12 | 2,85 | 1,43 |

En la dirección transversal.

Tabla 38. Medidas transversales para la malla.

| Ancho de la vía [A(m)] | A/2 (m) | d=A/3 (m) | d/2 (m) |
|------------------------|---------|-----------|---------|
| 8 | 4 | 2,67 | 1,33 |

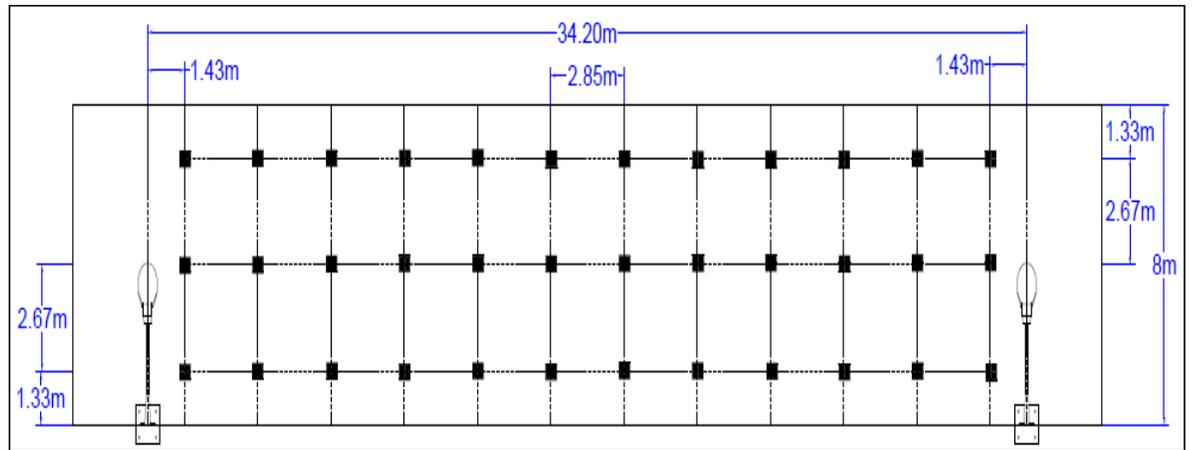


Gráfico 24. Puntos de cálculo para la Iluminancia.

Una vez localizado los puntos se procede a colocar el instrumento de medición de iluminancia, logrando obtener los siguientes datos.



Gráfico 25. Puntos de medición tomas en el campo.

Tabla 39. Valores obtenidos de iluminancia.

| Av. | Hno. | E max (lx) | E min (lx) |
|--------|------|------------|------------|
| Miguel | | | |
| P1 | | 31,4 | 31,2 |
| P2 | | 41,1 | 41,1 |
| P3 | | 33,1 | 33 |
| P4 | | 26,6 | 26,2 |
| P5 | | 31,2 | 31,2 |
| P6 | | 24,3 | 23,7 |
| P7 | | 19 | 19 |
| P8 | | 19,1 | 19 |
| P9 | | 15,6 | 15,5 |
| P10 | | 16,5 | 16,5 |
| P11 | | 15,2 | 15,2 |
| P12 | | 10,7 | 10,5 |
| P13 | | 14,3 | 14,2 |
| P14 | | 12 | 11,9 |
| P15 | | 8,1 | 8,1 |
| P16 | | 13 | 13 |
| P17 | | 11,5 | 11,3 |
| P18 | | 7,4 | 7,3 |
| P19 | | 13,1 | 13 |
| P20 | | 11,4 | 11,2 |
| P21 | | 7,2 | 7,1 |
| P22 | | 12,9 | 12,8 |
| P23 | | 13,9 | 13,8 |
| P24 | | 8,8 | 8,7 |
| P25 | | 15 | 14,8 |
| P26 | | 17,4 | 17,2 |
| P27 | | 12,7 | 12,6 |

Tabla 40. Valores obtenidos de iluminancia.

| Av. Hno. | E max | E min |
|----------|-------|-------|
| Miguel | (lx) | (lx) |
| P28 | 19,5 | 19,2 |
| P29 | 24,1 | 24,1 |
| P30 | 18,9 | 18,8 |
| P31 | 25,8 | 25,3 |
| P32 | 34,5 | 33,2 |
| P33 | 29,9 | 29,8 |
| P34 | 31,2 | 30,7 |
| P35 | 43,7 | 43,6 |
| P36 | 44,4 | 44,3 |

Por último, aplicamos la fórmula que corresponde para obtener la iluminancia promedio de la vía, obteniendo:

Tabla 41. Iluminancia máxima, mínima y promedio de la vía.

| | | | |
|-------|-----------|-------|-------|
| E_h | Total | 20,40 | 20,23 |
| | (lx) | | |
| | E_h | 20,31 | |
| | Prom (lx) | | |

3.5. Comparación de la DPEA entre luminarias de sodio y Led

Una vez aplicado los métodos de cálculo de iluminancia promedio en las vías con alumbrado público de luminarias de LED y sodio se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 42. Comparación de resultados de la iluminancia promedio obtenido de las dos vías seleccionadas.

| Método | Calle | Luminaria Led (lx) | Luminaria de sodio (lx) | DPEA (W/m ²) |
|----------|-----------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 9 puntos | C. Oriente | 33,84 | | 0,48 |
| | Av. Hno. Miguel | | 19,41 | 0,39 |
| Malla | C. Oriente | 29,74 | | |
| | Av. Hno. Miguel | | 20,31 | |

Como se puede observar en los resultados obtenidos, la calle Oriente con alumbrado público con luminaria Led posee mejor resultados frente a la de Sodio, teniendo una mayor DPEA considerando que ambas calles son casi idénticas en longitud vial, ancho de la calzada y área.

3.6. Cálculo del coeficiente de uniformidad general de iluminancia.

Uno de los parámetros fotométricos que debe cumplir un sistema de alumbrado público es el coeficiente de uniformidad para determinar si cumple con las condiciones de visibilidad y seguridad adecuados para cada tipo de vía. El coeficiente de uniformidad se define como la relación que existe entre la iluminancia mínima y la iluminancia promedio obtenidas en el campo de medición de las vías, logrando una mayor percepción visual por medio de la retina de la calzada y de los distintos objetos presentes en la misma.

El coeficiente de uniformidad se calcula a partir de las mediciones de iluminancia realizados, si bien sean por el método de los 9 puntos europeo o por el método de malla, la fórmula aplicada para el cálculo es la siguiente:

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{prom}} \quad 11$$

Donde

U_0 : coeficiente de uniformidad general de iluminancia.

E_{min} : iluminancia mínima, este valor es adoptada por la iluminancia más baja medida en la calzada.

E_{prom} : iluminancia promedio, este valor es el calculado por los métodos de los 9 puntos o de malla.

En la tabla 4, se observa los valores mínimos de uniformidad requeridos para cada tipo de vía.

A continuación, se procede a calcular el coeficiente de uniformidad de las calles donde se realizaron las medidas de iluminancia, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 43. Valor de uniformidad obtenidos de las vías seleccionadas.

| <i>Calle</i> | <i>Iluminancia E_{min} (lx)</i> | <i>Iluminancia E_{prom} (lx)</i> | <i>Uniformidad U₀</i> | <i>Uniformidad U₀regulación</i> |
|--------------------|---|--|--------------------------------------|--|
| C. Oriente | 8,1 | 29,74 | 27% | 40% |
| Av. Hno. Miguel | 7,2 | 20,31 | 35% | 40% |

El coeficiente de uniformidad varía para cada clase de iluminación (M1.M5), el valor para la iluminancia mínima se toma la medición más baja obtenida y para la iluminancia promedio se toma el valor calculado por el método de malla, así para ambas vías. Obteniendo de esta manera para la C. Oriente una uniformidad del 27% y de la Av. Hno. Miguel 35% siendo esta la que se aproxima a los valores de la tabla 4, establecidos para este tipo de vía.

3.7. Cálculo del valor de relación de alrededores SR.

Este cálculo hace referencia a la relación de la iluminancia horizontal promedio presente en la zona limítrofe a lo largo de las franjas situadas paralelamente en los bordes de la calzada, dividida para la iluminancia horizontal promedio presente a lo largo de dos franjas situadas de la misma forma que las otras, pero estas sobre la calzada, quedando expresada de la siguiente manera:

$$SR = \frac{E_{Vi}}{E_{Ci}} \quad 12$$

Donde

SR Relación de alrededores.

E_{Vi} Iluminancia promedio de las franjas exteriores de la calzada.

E_{Ci} Iluminancia promedio de las franjas interiores de la calzada.

Las franjas de los bordes exteriores pueden tener un ancho máximo de 5 metros e inferiores hasta el ancho que posean, mientras que el ancho de las franjas de los bordes interiores son la mitad del ancho de la calzada, para realizar las mediciones de iluminancia se aplica los mismos métodos de la sección 3.1.1, y se las realiza sin la presencia de ningún obstáculo en estas franjas, obteniendo de esta manera la relación de alrededores, figuras 26, 27.

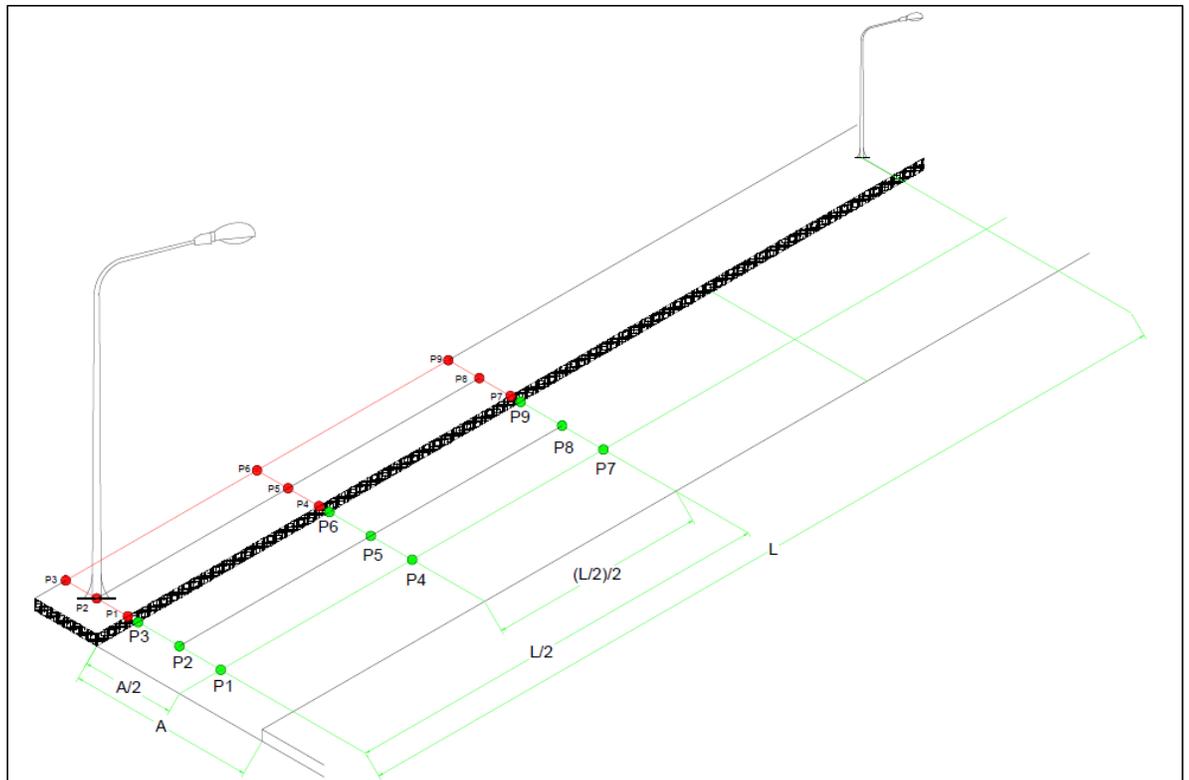


Gráfico 26. Puntos de medición de la franja interior y exterior debajo de la luminaria.



Gráfico 27. Puntos de medición de la franja interior y exterior frente a la luminaria.

A continuación, se procede a realizar el cálculo del valor de relación de alrededores de las vías antes analizadas:

Ejemplo:

Para obtener las mediciones aplicamos el método de los 9 puntos en las dos vías, tanto de un lado de la vía como del lado posterior, teniendo las siguientes medidas:

Mediciones correspondientes a las franjas debajo de la luminaria, tabla 39, 40.

Tabla 44. Valor de iluminancia C. Oriente

| <i>C. Oriente</i> | <i>EVi (lx)</i> <i>fuera de la</i> <i>calzada</i> | <i>ECi (lx)</i> <i>Sobre la</i> <i>calzada</i> |
|-------------------|---|--|
| P1 | 67,7 | 72,2 |
| P2 | 65,8 | 69,3 |
| P3 | 65 | 67,1 |
| P4 | 27 | 33,6 |
| P5 | 26,7 | 29,9 |
| P6 | 26,1 | 26,7 |
| P7 | 9,5 | 13,1 |
| P8 | 8,9 | 11,1 |
| P9 | 8,5 | 9,3 |

Tabla 45. Valore de iluminancia Av. Miguel.

| <i>Av. Hno. Miguel</i> | <i>Evi (lx)</i> <i>fuera de la</i> <i>calzada</i> | <i>ECi (lx)</i> <i>Sobre la</i> <i>calzada</i> |
|------------------------|---|--|
| P1 | 33,1 | 42,5 |
| P2 | 29,9 | 37,3 |
| P3 | 29,5 | 32,9 |
| P4 | 12,8 | 17,2 |
| P5 | 12 | 14,7 |
| P6 | 11,8 | 12,2 |
| P7 | 5,8 | 11,6 |
| P8 | 5 | 8,7 |
| P9 | 6,8 | 5,7 |

Mediciones correspondientes a las franjas frente a la luminaria, tabla 41, 42.

Tabla 46. Valore de iluminancia C. Oriente.

| <i>C. Oriente</i> | <i>EVi (lx)</i> <i>fuera de</i> <i>la calzada</i> | <i>ECi (lx)</i> <i>Sobre la</i> <i>calzada</i> |
|-------------------|---|--|
| P1 | 48,6 | 48,6 |
| P2 | 47,9 | 60,5 |
| P3 | 47 | 72,2 |
| P4 | 31,4 | 31,4 |
| P5 | 31 | 32,5 |
| P6 | 30,6 | 33,6 |
| P7 | 19,5 | 19,5 |
| P8 | 18,7 | 16,3 |
| P9 | 17,9 | 13,1 |

Tabla 47. Valore de iluminancia Av. Miguel.

| <i>Av. Hrn. Miguel</i> | <i>EVi (lx)</i> <i>fuera de la</i> <i>calzada</i> | <i>ECi (lx)</i> <i>Sobre la</i> <i>calzada</i> |
|------------------------|---|--|
| P1 | 25,1 | 25 |
| P2 | 24,8 | 34,3 |
| P3 | 24 | 42,5 |
| P4 | 16,5 | 16,9 |
| P5 | 15,9 | 17,1 |
| P6 | 15,4 | 17,2 |
| P7 | 13,5 | 13,5 |
| P8 | 12,9 | 12,6 |
| P9 | 12,5 | 11,6 |

Una vez tomada las medidas se aplica la fórmula de la relación de alrededores obteniendo los siguientes resultados, tabla 43:

Tabla 48. Relación de alrededores obtenido de las vías comparadas con las del reglamento.

| Calle | Evi (lx) fuera de la calzada | Eci (lx) sobre la calzada | (SR) obtenido | (SR) min regulación |
|---------------------|------------------------------|---------------------------|---------------|---------------------|
| C. Oriente lum | 32,07 | 35,17 | 0,91 | 0,5 |
| Av. Hno. Miguel lum | 15,14 | 18,89 | 0,80 | 0,5 |
| C. Oriente | 32,14 | 35,44 | 0,91 | 0,5 |
| Av. Hno. Miguel | 17,31 | 20,19 | 0,86 | 0,5 |

Como se puede observar en tabla 43, los niveles de relación de alrededores (SR), tanto en las franjas que se encuentran debajo de la luminaria como las que se sitúan frente a la luminaria coinciden y se encuentra sobre el valor mínimo establecido por el reglamento.

3.7. Definición de luminancia

Otro parámetro fotométrico para verificar si un sistema de alumbrado está bien iluminado es el cálculo de luminancia del SAP, este parámetro hace referencia a la cantidad de luz emitida por la luminaria sobre la vía y es percibida por el ojo del observador como puede ser peatón, conductor o ciclista (Ixtaina, Bannert y Gallardo, 2016).

Este parámetro debe ser aplicado en vías que se encuentren secas y rectas, el análisis de la luminancia depende de factores como las características reflectivas que posee la vía, la cantidad de intensidad luminosa que es percibida por la vía y la posición del observador,

su instrumento de medición es el Luminancímetro y la unidad de medida es Cd/m² (Puell, 2020).

3.7.1. Coeficiente de luminancia (q).

Para definir la luminancia se requiere conocer las propiedades de reflexión de la vía llamado coeficiente de luminancia q, al cual se le define como la relación entre la luminancia y la iluminancia en un punto determinado de la vía (Ixtaina, Bannert y Gallardo, 2016).

Expresado de la siguiente manera:

$$q = \frac{L}{E_h} \quad 13$$

Donde

q coeficiente de luminancia en un determinado punto.

L luminancia en un determinado punto.

E_h iluminancia horizontal en un determinado punto.

El coeficiente de luminancia de una vía depende del ángulo de incidencia luminosa emitida por la luminaria y de la posición en la que se encuentre el observador, de forma global de 4 ángulos presentes en la figura 28.

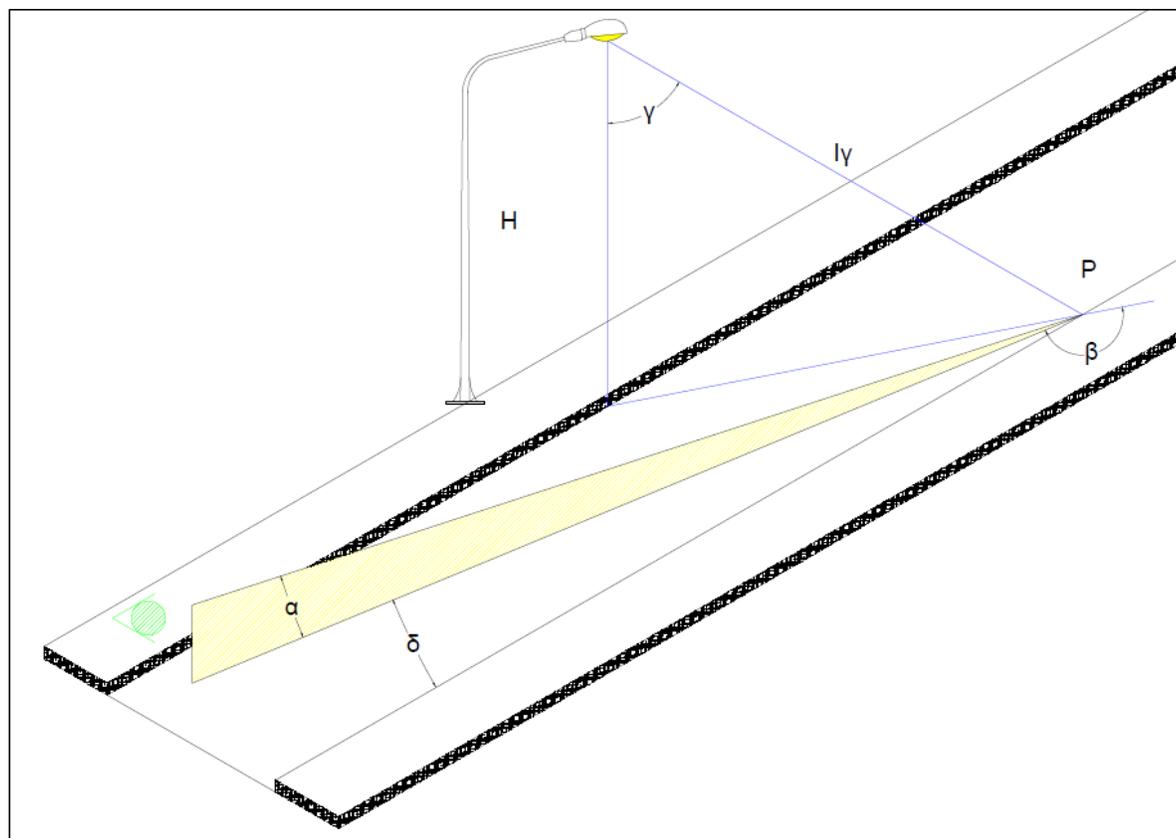


Gráfico 28. Ángulos que inciden en el coeficiente de luminancia.

En la figura 28, podemos observar los 4 ángulos (α , β , γ , δ) los cuales son función del coeficiente de laminación, en el cual alfa (α) es el ángulo de observación del conductor el cual varía de 0.5° a 1.5° , delta (δ) es el ángulo tomado desde la calzada al ángulo del observador (α), gamma (γ) hace referencia al ángulo que existe entre la posición de la fuente de luz y el punto iluminado a considerar y por último beta (β) es el ángulo entre el ángulo del observador y el punto considerado dando de esta manera la posición del observador.

Como se describió anteriormente el coeficiente de luminancia depende de la ubicación del observador y de la posición de la luminaria respecto al punto considerado, por lo tanto, el coeficiente de luminancia queda en función de (β , γ) haciendo al resto de ángulos despreciables, quedando expresado de la siguiente manera:

$$q = f(\beta, \gamma) \quad 14$$

Para definir de una manera más simplificada la luminancia introducimos términos que se encuentran disponibles con facilidad en el SAP, siendo estos la I (intensidad luminosa) y H (altura a la que se encuentra la luminaria), quedando de la siguiente manera:

$$q = \frac{L}{E_h}$$

$$L = q \times E$$

$$E = \frac{I}{H^2} \cos^3 \gamma$$

$$L = \frac{I}{H^2} (q \cdot \cos^3 \gamma)$$

$$L = \frac{1}{H^2} I \cdot r \quad 15$$

Quedando definida la luminancia, el término entre paréntesis ($q \cdot \cos^3 \gamma$) corresponde al coeficiente reducido de luminancia -r-

3.7.2. Coeficiente reducido de luminancia -r-

Este coeficiente trata de las características reflectivas propias de cada superficie vial, las cuales encontramos ya tabuladas y se las conoce con el nombre de Tablas R, descritas en la tabla 6.

3.8. Jerarquía vial de la ciudad de Azogues

Como toda ciudad, la ciudad de Azogues posee un plan de desarrollo territorial para clasificar cada una de las arterias viales que conforman parte de la red vial de la ciudad de

Azogues, para lograr clasificar e identificar cada vía se considera varios aspectos principales tales como: acceso a la propiedad, movilidad del viaje y la funcionalidad de cada una de las vías, teniendo la siguiente clasificación:

D). Sistema arterial principal urbano: Este grupo pertenece a las vías que soportan la mayor cantidad de viajes de ingreso y salida de la ciudad, están diseñadas a tener un tráfico de alta velocidad y que están en la capacidad de asumir un alto volumen de tráfico, por estas vías se realiza la circulación de las rutas del transporte interprovincial, inter cantonal, e inter parroquial y de tránsito. En este grupo están:

II). Sistema arterial secundario urbano: En esta categoría están las vías que sirven de enlace entre la arteria principal con el resto de las vías de la ciudad, sus longitudes son menores, el tráfico tiene velocidades menores y sirven para la conectividad con los barrios y centro de la ciudad y los sectores rurales, tabla 44.

Tabla 49. Listado de vías secundario urbano

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

II). Sistema Colector: En esta categoría están las vías que sirven de enlace entre la arteria secundaria hacia las periferias o comunidades, y con el resto de las vías locales de la ciudad, sus longitudes son menores, y sirven para la conectividad con los barrios y los sectores rurales, tabla 45.

Tabla 50. Listado de vías colectoras.

| <i>N°</i> | <i>Nombre de la Vía</i> | <i>N°</i> | <i>Nombre de la Vía</i> |
|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|
| 1 | SAN FRANCISCO | 17 | TRAJANO CARRASCO |
| 2 | AZUAY | 18 | MANUEL A AGUIRRE |
| 3 | BARTOLOME SERRANO | 19 | HORONATO VAZQUEZ |
| 4 | FRAY V SOLANO | 20 | BENIGNO MALO |
| 5 | 3 DE NOVIEMBRE | 21 | AGUSTO SACOTO |
| 6 | ANTONIO J DE SUCRE | 22 | LUIS A MUÑOZ |
| 7 | 10 DE AGOSTO | 23 | ALFONSO VINTIMILLA |
| 8 | TENEMAZA | 24 | RAFAEL MARIA GARCIA |
| 9 | GENERAL ENRIQUEZ | 25 | INGAPIRCA |
| 10 | RIVERA | 26 | ATAHUALPA |
| 11 | MATOVELLE | 27 | MEDARDO A SILVA |
| 12 | GARCIA MORENO | 28 | HUMBERTO VICUÑA |
| 13 | SIMON BOLIVAR | 29 | IMBABURA |
| 14 | JOSE J OLMEDO | 30 | ALBERTO OCHOA |
| 15 | AV. DE LA VIRGEN | 31 | CARLOS AGUILAR |
| 16 | SAMUEL ABAD | | |

IV). Sistema de vías locales: Dentro de este grupo podemos considerar a las vías que ofrecen un menor grado de movilidad, presentan velocidades menores de circulación, un volumen menor ocasionado por los usos de los colindantes cercanos, permiten unos viajes cortos y en estas por lo general está restringida la circulación de la transportación de buses urbanos, es decir son las vías de barrio, tabla 46.

Tabla 51. Listado de vías locales.

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

En estas vías el estacionamiento de los vehículos es común para los frentistas de las propiedades, su trazado geométrico tanto horizontal y vertical se ajusta a la topografía del terreno, con secciones variantes entre 7 a 8 metros de ancho.

V). Vías peatonales: Dentro de este grupo están aquellas vías que, por su pequeña sección, pendiente y su trazado geométrico está restringido al tránsito vehicular, sirven para comunicación entre las propiedades colindantes, su sección varía entre los 3 a 6 metros. El material de la calzada es de tierra en su mayoría, su estado varía de regular a bueno, existe un tramo con pavimento rígido en una longitud de 0.09 kilómetros, su estado es bueno. La longitud total de estas vías es de 0.34 kilómetros.

VI). Caminos vecinales: En la ciudad de Azogues se presenta con mucha facilidad caminos vecinales cuya longitud es menor a los 100 metros, con una sección que fluctúa entre un metro hasta los 3 metros y sirven para dar ingreso a pocas propiedades que se entran en el interior de las manzanas; el material de la calzada es de tierra, su trazado geométrico tanto horizontal y vertical se ajusta a la topografía del terreno.

En la figura 29, se puede apreciar el sistema arterial urbano de la ciudad de Azogues.

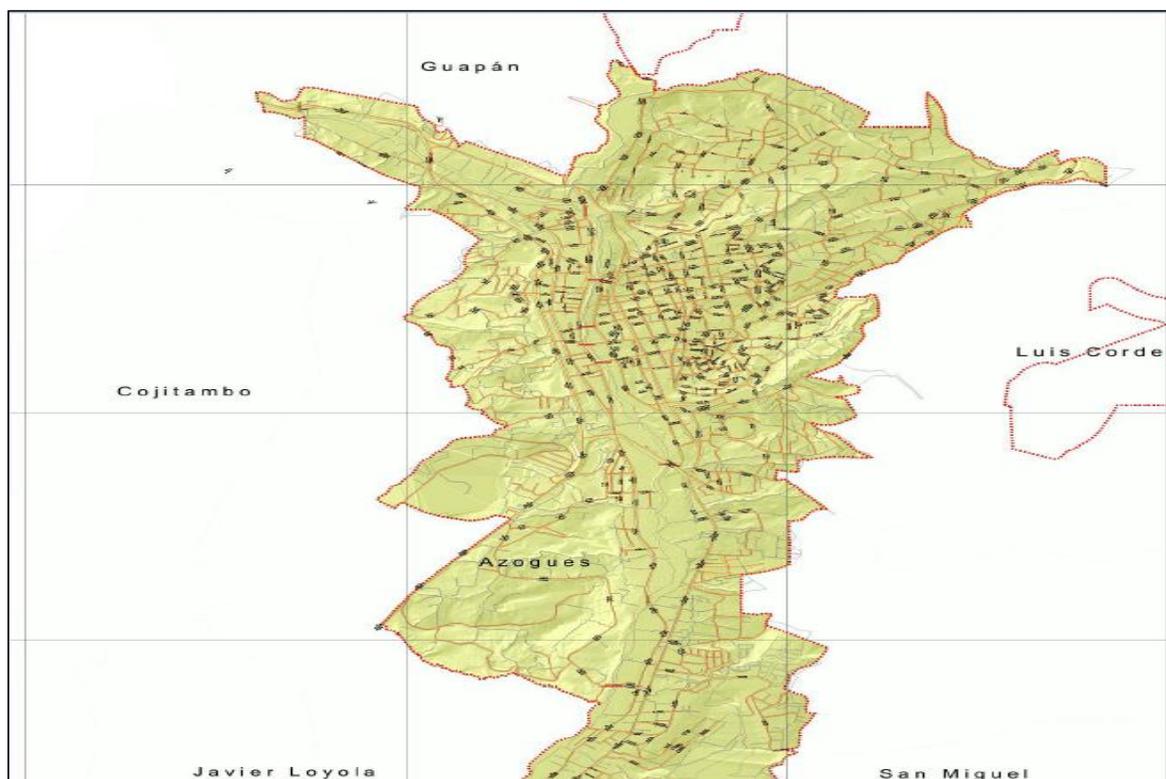


Gráfico 29. Sistema arterial vial.

3.9. Clases de iluminación.

Las clases de iluminación son tomadas del RETILAP, donde se asigna una clase de iluminación (M1...M5) bajo los criterios de: descripción de la vía, velocidad de circulación y tránsito vehicular. A continuación, tabla 47, se observa las clases de iluminación (Energía, 2010).

Tabla 52. Clases de iluminación para las diferentes vías.

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

3.10 Clases de iluminación para la jerarquía vial de la ciudad de Azogues.

El sistema arterial vial de la ciudad de Azogues está compuesto por: vías secundarias, vías colectoras y vías locales, las cuales constan con límites de velocidad, por lo que, conociendo los límites de velocidad se procede a asignar la clase de iluminancia a la que pertenece cada una de las jerarquías viales de la ciudad de Azogues. Tomando como base la tabla 47, se obtiene los siguientes resultados, tabla 48.

Tabla 53. Clases de iluminación para las diferentes jerarquías viales de Azogues.

| <i>Clase de iluminación</i> | <i>de Secundarias</i> | <i>Colectoras</i> | <i>Locales</i> |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|
| M1 | 90 km/h | ----- | ----- |
| M2 | 40-50 km/h | 50 km/h | ----- |
| M3 | 30 km/h | 40-30 km/h | 30-20 km/h |
| M4 | ----- | 20-10 km/h | 10 km/h |
| M5 | ----- | ----- | ----- |

A continuación, en la tabla 49, se establece la distribución de las vías según su jerarquía y clase de iluminación.

Tabla 54. Cantidad de vías a las que pertenece según su jerarquía y clase de iluminación.

| <i>Clase de iluminación</i> | <i>de Secundarias</i> | <i>Colectoras</i> | <i>Locales</i> | <i>Total</i> |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|--------------|
| M1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M2 | 7 | 1 | 0 | 8 |
| M3 | 16 | 5 | 2 | 23 |
| M4 | 0 | 25 | 61 | 86 |
| M5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 23 | 31 | 63 | 117 |

En la tabla 49, tenemos los resultados del número de vías que pertenecen a cada jerarquía obteniendo que existe 63 vías que pertenecen a las locales representando el 63%, de igual manera las colectoras con 31 vías con 26% y por ultimo las secundarias con 23 y 20% respectivamente, figura 30.

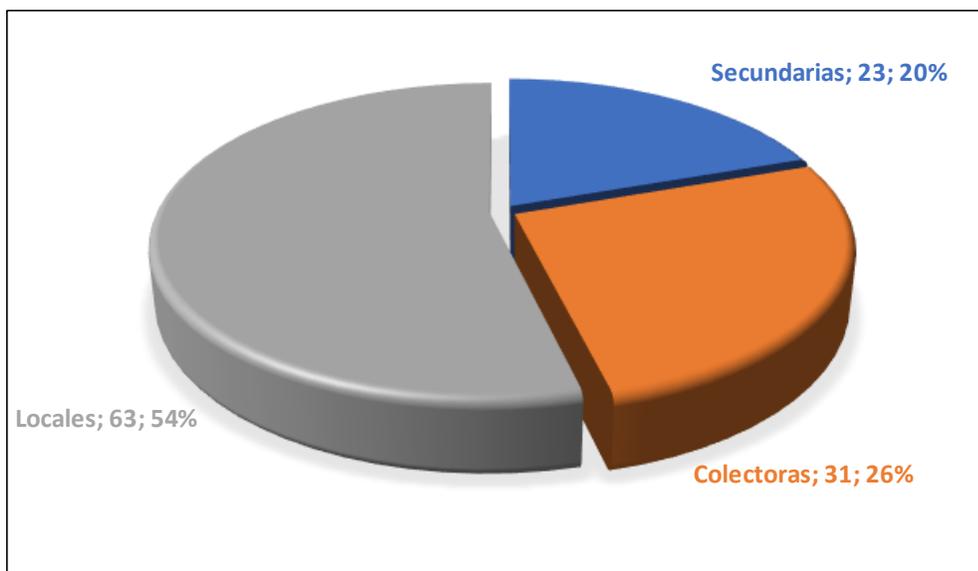


Gráfico 30. Número de vías que pertenece a cada jerarquía vial.

De la misma forma, en la tabla 49, se obtiene la cantidad de vías que pertenece a cada clase de iluminación, obteniendo como resultado que 86 vías pertenecen a M4 equivaliendo al 73%, 23 vías a M3 con 20% y finalmente 8 vías con el 7%, figura 31.

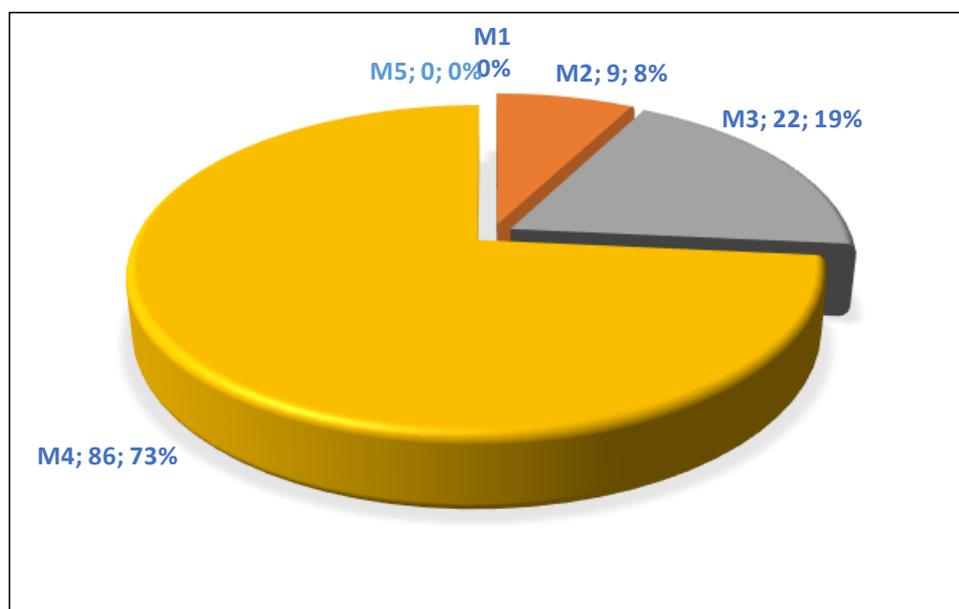


Gráfico 31. Número de vías que pertenece a cada clase de iluminación.

3.11. Valores de Iluminancia promedio

En la tabla 50, se describe los valores de luminancia promedio (cd/m^2) que se debe tener sobre la calzada según la clase de iluminación a la que pertenezca tomadas del RETILAP, sabiendo esto, se relaciona la luminancia con la iluminancia, utilizando el coeficiente R del pavimento empleado, se procede a multiplicar con los datos de luminancia tomadas del RETILAP, obteniendo de esta manera la iluminancia promedio para cada tipo de vía. Se toma el valor de 15 cuando se desconoce el coeficiente R (Gil y Minassian, 2009).

Tabla 55. Valores de luminancia e Iluminancia según la clase de iluminación.

| <i>Clase de iluminación</i> | <i>Luminancia prom (cd/m^2)</i> | <i>Iluminancia prom E lux (lm/m^2)</i> |
|---------------------------------|--|---|
| M1 | 2 | 30 |
| M2 | 1,5 | 23 |
| M3 | 1.2 | 18 |
| M4 | 0,8 | 12 |
| M5 | 0,6 | 9 |

Ya obtenido los valores de iluminancia promedio para las diferentes clases de iluminación se procede a analizar las vías de la ciudad de Azogues, ejemplo:

Ejemplo.

En el ejemplo de la sección 3.3.1 y 3.3.4 se realizó el cálculo de la iluminancia promedio de la calle oriente y Av. Hno. Miguel, para comprobar si estas vías cumplen con el rango de iluminancia promedio, primero se identifica la iluminancia promedio que se requiere según a la clase de iluminación que pertenezcan estas vías revisando la tabla 50,

por último, se verifica la iluminancia promedio requerida con la medida en el campo, tabla 51.

Tabla 56. Valores de iluminancia promedio y reales obtenidos.

| <i>Calle</i> | <i>Clase de Iluminación</i> | <i>de Velocidad (Km/h)</i> | <i>Iluminación promedio Eprom (lx)</i> | <i>Iluminación medida Eprom (lx)</i> |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------|--|--------------------------------------|
| C. Oriente | M2 | 40 | 23 | 29,74 |
| Av. Hno. Miguel | M2 | 40 | 23 | 20,31 |

Como se observa en la tabla 50, la Av. Hno. Miguel posee una velocidad de 40 Km/h lo que la coloca en clase de iluminación M2 requiriendo una iluminancia promedio de 23 lx, el valor obtenido en el campo es de 20.31 lx, dicho valor está dentro de los márgenes admisibles.

Por otro lado, la C. Oriente tiene las mismas características que la Av. Hno. Miguel, en este caso la iluminancia promedio medida en el campo es de 29.74 lx, variando de lo requerido que es 23 lx, esto es debido a como se analizó en la sección 5.1.1.4, el sistema de alumbrado público implementado en la C. Oriente es luminarias LED's, ahí la razón es por qué mayor iluminancia, corroborando de esta manera que las luminarias LED's presenta una mayor eficiencia energética.

3.12. DPEA MÍNIMA.

Para poder establecer si la DPEA en una vía se encuentra dentro de los rangos admisibles se requiere conocer la DPEA mínima requerida, se establece los siguientes valores mínimos de DPEA para cada clase de iluminación (Zhunio, 2016).

Tabla 57. Valores de la DPEA mínimos según la clase de iluminación.

| Clase de iluminación | Iluminancia prom E (lx) | DPEA min (W/m ²) |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| M2 | 23 | 0,41 |
| M3 | 18 | 0,32 |
| M4 | 12 | 0,21 |

3.13. ANÁLISIS DE LA DPEA E ILUMINANCIA.

En esta sección se analiza la DPEA con respecto a la iluminancia requerida para cada vía, en la tabla 52 , emitida por la RETILAP describe los valores máximos de la DPEA de una vía dependiendo del ancho de la calzada y su nivel de iluminancia promedio requerido, según ello se comparará la tabla emitida por el reglamento y los valores calculados en el capítulo anterior.

Por ejemplo tenemos la Av. Hno. Miguel, es una vía de 40 Km/h con clase de iluminancia M2 la cual requiere una iluminancia promedio de 23 lx, ahora bien, vamos a analizar la DPEA de esta vía, mediante cálculos aplicados en el capítulo anterior encontramos que posee una DPEA de 0.39 W/m² , en este instante se procede a conocer el ancho de esta vía la cual es 12.75 m y conociendo la iluminación promedio requerida se verifica en la tabla 13, la DPEA según el reglamento.

Tabla 58. Comparación de la DPEA cálculo con respecto a la tabla del reglamento.

| Calle | Clase de Iluminación | de Velocidad (Km/h) | Iluminación promedio (lx) | Ancho (m) | DPEA calculada (W/m ²) | DPEA norma (W/m ²) |
|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------|
| Av. Hrn. Miguel | M2 | 40 | 23 | 12,75 | 0,39 | 1,33 |

Como se puede observar la DPEA en esta vía no cumple con el reglamento, por lo tanto, en el próximo capítulo se procederá a dar recomendaciones para mejorar la DPEA.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del análisis de la DPEA aplicada en el casco urbano de la ciudad de Azogues, en el cual el sistema arterial urbano consta de 117 vías de las cuales se dividen en las 3 principales arterias viales las cuales son: Vías secundarias, Vías colectoras, Vías locales.

Vías secundarias: Dentro de la arteria vial secundaria se dispone de 23 vías consideradas parte de esta jerarquía tabla 54, una vez realizado las mediciones, cálculos y análisis respectivos de la DPEA se obtuvo que 18 vías están dentro del rango equivalente al 78% y 5 de estas se encuentran por debajo del límite mínimo, dando un 22%, esto se puede apreciar en el anexo 3. A continuación, se muestra la distribución porcentual de los datos obtenidos, figura 32:

Tabla 59. Datos obtenidos de las vías secundarias que están dentro de rango y las que no.

| Vías Secundarias | | | |
|------------------|------------------|-----------------|-------|
| Total de Vías | Dentro del rango | Fuera del rango | |
| | | Sobrepasa | Falta |
| 23 | 18 | 0 | 5 |



Gráfico 32. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos de las vías secundarias.

En este conjunto de vías secundarias todas las vías que están fuera del rango, es porque no cumplen con el valor mínimo de DPEA, un caso en particular es la Av. Hno. Miguel y Av. Ignacio Neira ya que son dos de las cinco vías que no cumplen con los valores, esto debido a que en su sistema de alumbrado posee luminarias de diversas potencias algunas de ellas destinadas a espacios de estacionamiento y la calzada tiene un ancho promedio de 13m y 16m respectivamente. Siendo estas vías de prioridad para el departamento de operación mantenimiento de la empresa eléctrica Azogues se elabora un proyecto para mejorar el sistema de alumbrado público.

Vías Colectoras: Las vías colectoras está formadas por 31 vías las cuales 21 de ellas cumplen con el reglamento, mientras los 10 restantes sobrepasan el límite máximo permitido, tabla 55, en esta arteria vial predomina la clase de iluminación M4 como se aprecia en el anexo 4, se aprecia la distribución porcentual respectiva, figura 33:

Tabla 60. Datos obtenidos de las vías colectoras que están dentro de rango y las que no

| Vías Colectoras | | | |
|------------------------|-------------------------|------------------------|--------------|
| Total de Vías | Dentro del rango | Fuera del rango | |
| | | Sobrepasa | Falta |
| 31 | 21 | 10 | 0 |



Gráfico 33. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos de las vías colectoras.

En este conjunto de vías colectoras todas las vías que están fuera del rango, es porque sobrepasan los valores máximos de DPEA contrario a lo que pasa en la arteria vial de las secundarias.

Vías Locales: este tipo de vías son las que más predominan en el sistema vial de la ciudad, su clase de iluminación es la M4 como se aprecia en el anexo 5, en la ciudad de Azogues encontramos 63 de estas vías tabla 56, de las cuales 48 vías están dentro del reglamento, mientras 14 de estas sobrepasan los límites máximos y 1 de ellos está por debajo del rango mínimo, figura 34.

Tabla 61. Datos obtenidos de las vías locales que están dentro de rango y las que no

| Vías Locales | | | |
|---------------|------------------|-----------------|-------|
| Total de Vías | Dentro del rango | Fuera del rango | |
| | | Sobrepasa | Falta |
| 63 | 48 | 14 | 1 |

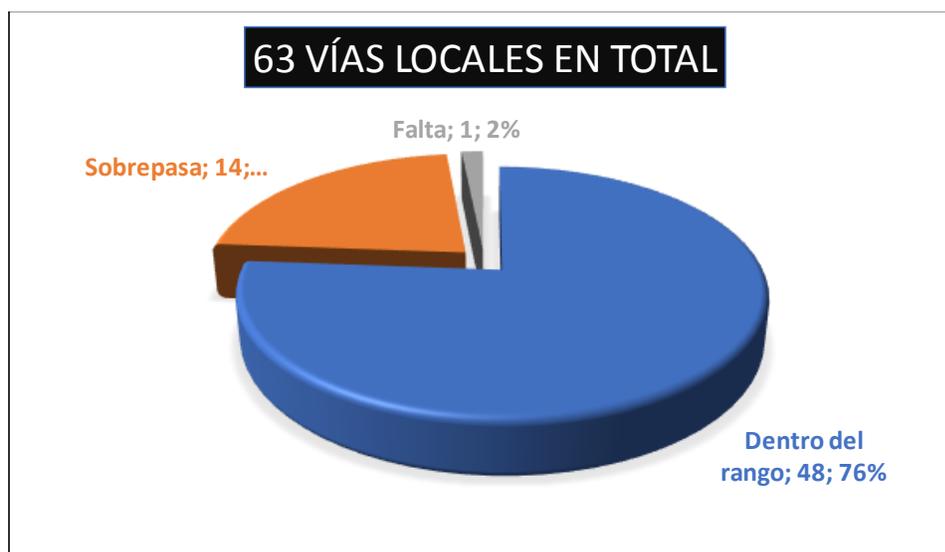


Gráfico 34. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos de las vías locales.

3.13.1 ANÁLISIS GENERAL DE LA DPEA.

El sistema vial del casco urbano de Azogues está formado por arterias viales: secundarias, colectoras y locales, el conjunto de cada una de las vías que forma parte de

estas arterias dan la suma de 117 vías, de las cuales 87 vías cumplen con el rango permitido de la DPEA y 30 vías no cumplen con los rangos de la DPEA, donde 24 de ellas sobrepasan el máximo permitido y los 6 restantes están por debajo del mínimo requerido figura 35, 36.

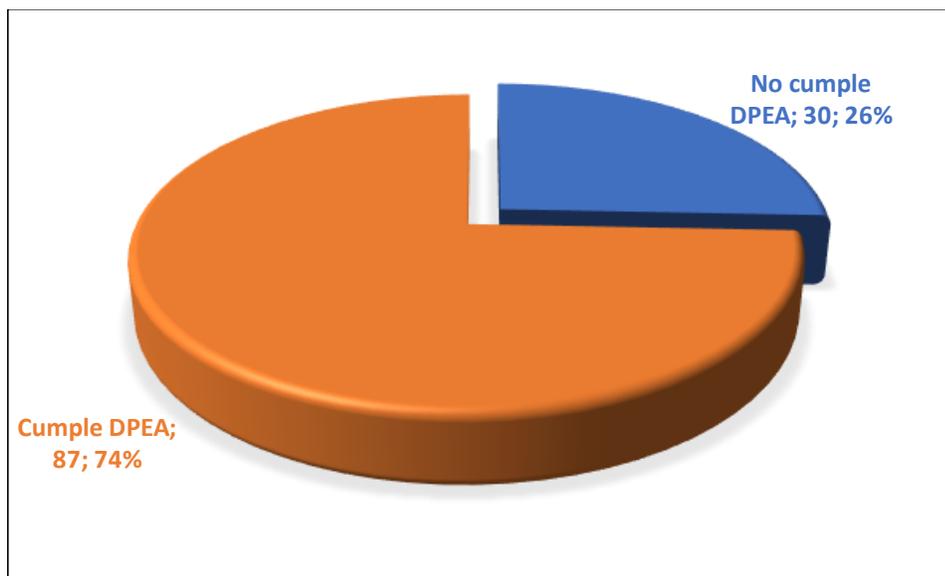


Gráfico 35. Distribución porcentual y unidad de los resultados obtenidos en general.

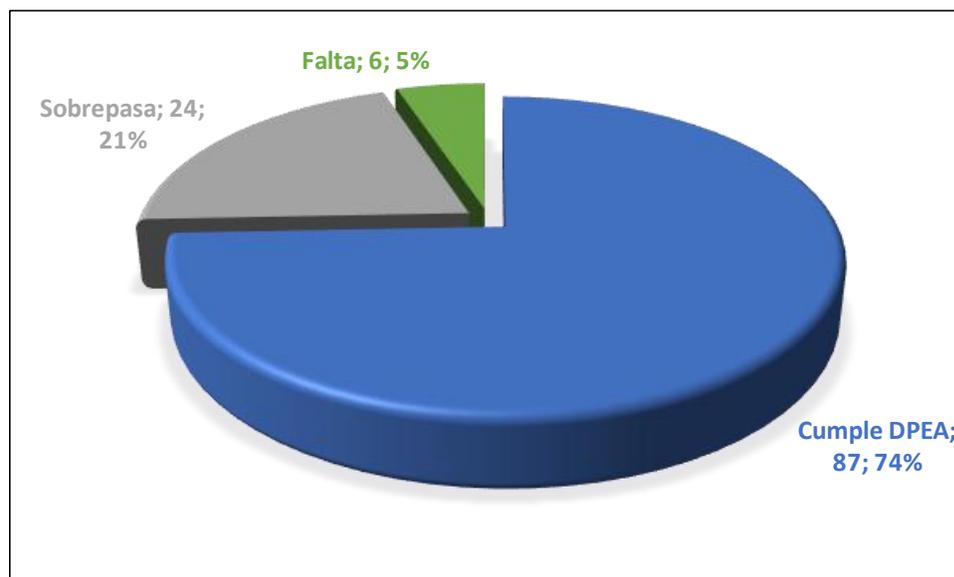


Gráfico 36. Distribución porcentual y unidad de los resultados que no cumplen.

CAPÍTULO 4

Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Al cierre del 2018 a nivel nacional tenemos que para el sistema de alumbrado público se ha implementado 1.548.918 luminarias prestadas por cada una de las diferentes empresas eléctricas distribuidoras, con un consumo energético de 3.678 GWh equivalentes a 298 MUSD, por lo que representa un consumo tanto energético como económico alto para el sector eléctrico ecuatoriano, requiriendo la implementación de estudios y análisis fotométricos que garanticen de esta manera que el sistema de alumbrado público general tenga un uso racional del recurso eléctrico sin dejar de lado la eficiencia y calidad del mismo.

La entidad que normaliza la prestación del servicio de alumbrado público general a nivel nacional es la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), la cual emite la regulación Nro. 006/18 donde se indican condiciones técnicas, parámetros fotométricos para prestar un servicio de calidad y eficiente, las mismas que deben ser cumplidas por las diferentes empresas distribuidoras prestadoras del sistema de alumbrado público.

En la ciudad de Azogues la empresa eléctrica distribuidora encargada del sistema de alumbrado público es la Empresa Eléctrica Azogues (EEA), la misma que presenta una correcta iluminación en su sistema de alumbrado público al largo de sus diferentes vías de la ciudad, con implementación de luminarias de tecnología LED, con la adquisición de equipos para las luminarias bajo ciertos criterios de calidad para su correcto funcionamiento, de la misma manera logra un ahorro energético con implementación de luminarias con doble nivel de potencia que en ciertas horas de la noche y madrugada empiezan a funcionar a su menor potencia, de la misma manera con restricción del alumbrado ornamental en ciertas partes de la ciudad.

En la Empresa Eléctrica Azogues el departamento que se encarga del sistema de alumbrado público es el departamento de Operación y Mantenimiento, donde una de sus funciones es el mantenimiento del sistema de alumbrado para el cual ha desarrollado un plan de mantenimiento en que consiste un mantenimiento correctivo, trata de la recepción de reclamos de luminarias por parte de los usuarios, otra manera que ha implementado el departamento es mediante recorridos nocturnos de cuadrillas para detectar posibles fallas en el sistema. Una vez receptado el reclamo o detectado la falla se envía una cuadrilla para el posterior arreglo de esta, teniendo en cuenta el tiempo permitido para la reposición del alumbrado, que es para zonas urbanas de 48 horas y para zonas rurales de 72 horas, el tiempo transcurre a partir del momento que se recibe el reclamo o se detectada la falla.

En el sistema de alumbrado público de las vías de la ciudad de azogues se encontraron diversos aspectos que afecta la iluminación de las vías, siendo estas, se emplean luminarias de diferentes potencias a lo largo de una calzada, la presencia de un transformador en un poste hace que la luminaria en ese poste sea instalada a menor altura, las interdistancias que existe de poste a otro varían y por último tenemos la presencia bienes municipales (sillas, arboles, alcantarillado).

Las medidas para los cálculos se obtuvieron de dos maneras, una la obtuvimos desde la plataforma virtual Arc-GIS de la empresa eléctrica Azogues y la otra la realizamos en el campo para corroborar la fiabilidad de las mediciones de la plataforma, las cuales dieron un resultado favorable para realizar los cálculos.

Los vanos seleccionados para los cálculos de iluminancia se optaron por una de luminaria Led y otra de sodio para lograr comparar cuál de estas resulta mejor para la iluminación de vías, siendo la luminaria Led la que mejores resultados se obtuvo en los cálculos de DPEA, pero presenta una desventaja en la uniformidad de la calzada siendo superada por la luminaria de sodio.

Existen vías que se encuentran sobre iluminadas, en esta caso existe excepciones debido a que estas vías pertenecen algún lugar turístico donde la sobre iluminación es aceptada o por que la vía es paralela a un parque donde existe proyectores que además de iluminar el parque también contribuye a la iluminación de la calzada.

El sistema vial del casco urbano de Azogues está formado por arterias viales: secundarias, colectoras y locales, la suma de cada una de las vías que forma parte de estas arterias es de 117 de las cuales 87 están dentro de los rangos de la DPEA y 30 fuera de ellos, dentro de las 30 vías que se encuentran fuera de los rangos de la DPEA; 24 se encuentran sobre iluminadas lo que significa un consumo energético injustificado y las 6 vías restantes presentan falta de iluminación lo que equivale al 5% del 100% de vías, concluyendo de esta manera que el sistema de alumbrado público del casco urbano se encuentra correctamente iluminado.

Para el diseño de un sistema de alumbrado público va a depender de muchos factores comenzado desde el tipo de vía que se requiere iluminar, las características o necesidades propias de esta, como puede ser una vía principal de tráfico vehicular y peatonal o como también puede ser un parque, túnel entre otras, para cada tipo de vía o lugar a iluminar se debe cumplir con los parámetros fotométricos requeridos para cada tipo, para ello se debe tener en cuenta, la localización de las luminarias, la interdistancia entre ellas, el ancho de la calzada, la longitud de la vía, el tipo de luminaria a implementar y la altura de montaje, garantizando de esa manera un sistema de alumbrado público de calidad, eficiente y racional.

4.2.Recomendaciones

En el caso de vías que no tienen salida y sirven solo de acceso residencial se puede optar por una configuración del alumbrado de tal manera de mantener una iluminación mínima de la DPEA, de forma que se cumple con la regulación y tenemos un ahorro energético.

El flujo luminoso para un sistema de alumbrado público depende de la disposición de las luminarias, de la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades reflexión de la calzada.

El departamento de operación y mantenimiento de la Empresa Eléctrica Azogues debería realizar un estudio para ver si es factible implementar un mantenimiento preventivo al sistema de alumbrado público en la cual se incluya la evaluación económica y gestión de mantenimiento.

El análisis de la DPEA debería ser incorporado por parte de la ARCONEL en su regulación como otro parámetro fotométrico.

Para la correcta iluminación en zonas de conflicto como en curvas, la iluminación de esta va a depender de la interdistancia presente en el sistema de alumbrado a lo largo de la curva y para pendientes colocar la luminaria de forma que el flujo luminoso caiga de manera perpendicular a la calzada aplicando el mismo ángulo que se presente en la calzada.

Las vías que se encuentran por debajo del mínimo requerido de la DPEA se deberán salir al campo e identificar los factores que influyen al incremento de esta como puede ser aumento de la potencia de luminarias, reubicación de luminarias, cambio de luminarias por su antigüedad entre otras.

Para las mediciones se recomienda realizar en calzadas secas que no presenten baches o fallas, tener calibrado el luxómetro, que las luminarias se encuentren en buen funcionamiento, las mediciones deben realizarse en la madrugada donde no existe mucha presencia vehicular y en zonas seguras desde el punto delincencial para la seguridad de los técnicos y para que no interfiera la luz de los vehículos o de diferentes fuentes de iluminación en las medidas a obtener.

Para la correcta iluminación de una calzada se puede intercambiar luminarias de diferentes vías, logrando así cumplir con los parámetros fotométricos y ahorro para la empresa en adquisición de nuevas luminarias. Ejemplo, con los datos obtenidos en este trabajo se puede observar que una vía catalogada como local que es solo de uso residencial y no tiene salida posee tres luminarias de 250 W cada una, dando como resultado una sobre iluminación; por otro lado tenemos otra vía catalogada como secundaria en la cual falta iluminación donde encontramos luminarias de diferentes potencias entre ellas de 70 W, lo que se recomienda es desmontar las tres luminarias de 250 W de la vía local y reemplazarlas por tres de 70 W de la vía secundaria, de esta manera la empresa asegura una adecuada iluminación de la calzada, una correcta distribución de energía para el alumbrado público, ahorro energético y dinero en compra de luminarias.

Para las vías que falta iluminación y se requiere un gran trabajo para la implementación de nuevas luminarias, la empresa debería crear procesos de contratación para que se realice este trabajo, el mismo se debe realizar a partir de este estudio, verificar las zonas de la calzada donde se requiere colocar poste para montar nuevas luminarias, reemplazar luminarias existentes por unas de mayor potencia, como se realizara en la Av. Hno. Miguel. Una vez que se termine el trabajo se debe esperar 100 horas que las nuevas luminarias estén en uso para proceder a verificar mediante los parámetros fotométricos.

Las vías que se encuentran sobre iluminadas se deberá analizar la ubicación de estas, en algunos casos se puede explicar la sobre iluminación debido a que son calles junto a parques, son calles de algún lugar turístico entre otras y en el caso que no se justifique se procederá con los correctivos necesarios obteniendo un ahorro energético.

En un futuro implementar el análisis de la DPEA a las parroquias urbanas y rurales de la concesión de la Empresa Eléctrica Azogues, para lograr lo mismo que se presenta en este trabajo.

Bibliografía

- Acevedo Garcés, F. D. J. (2016). Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios.
- Alata Rey, J. E. (2015). Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares-caso UNALM.
- ARCONEL, R. N. 054/18. (2018). 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).
- 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.
- 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 mantenimiento 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).
- Gil, J. M., & Minassian, M. R. (2009). Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior: y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. Editorial Paraninfo.
- Guevara Sanginés, A. E., & Lara Pulido, J. A. (2015). Mitigación del cambio climático a través de un alumbrado público eficiente en México: superando los

- retos políticos en aras de la eficiencia económica y el equilibrio ambiental. *Acta universitaria*, 25(1), 43-55.
- 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.
- Jiménez, O., Olmedo, F., & Suárez Farinango, W. A. (2017). Diseño y simulación de la operación y control de los convertidores estáticos de energía en una micro-red eléctrica inteligente (Micro-Smart Grid) aplicado un sistema de alumbrado público a partir de fuentes de energía renovables (fotovoltaica y eólica) (Master's thesis, Quito, 2017.).
- 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-conveniencia>.
- Pazos, C. B. (2015). Proyectos de eficiencia energética en alumbrado público. In Seminario técnico sobre iluminación. 2015 Año Internacional de la luz.: Vigo 29 y 30 de Junio de 2015. Auditorio del Edificio Municipal del Arenal (Antiguo Edificio del Rectorado) (pp. 10-95). Asociación de Ingenieros Industriales de Galicia.
- Puell Marín, M. C. (2020). Umbral de luminancia diferencial y adaptación a la luz.

- 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.
- Rivera Murillo, R. R. (2019). Análisis y propuesta de un sistema de gestión inteligente del alumbrado público en Guayaquil.
- Rodríguez Chaparro, A. M. (2016). Telegestión del servicio de alumbrado público inteligente para el parque metropolitano el tunal ubicado en la ciudad de Bogotá.
- Salas-Jiménez, J. C., & Benavides-Ramírez, W. (2015). Evaluación preliminar. Tratamiento del mercurio de fluorescentes y bombillas del alumbrado público. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(4), 78-85.
- Vélez Sarmiento, J. A., Figueroa Quimbayo, J. A., & Torres Moreno, C. R. A. (2015). Diseño de un sistema de alumbrado público con suministro de energía solar fotovoltaica en la Urbanización Valle del sol Girardot-Cundinamarca.
- Zhunio, F. M. M. (2016). de Ingeniero Eléctrico. Potencia.

Anexos

Anexo 1. Datos de luminarias a diciembre del 2019, SISTEMA EEA.

| <i>DATOS</i> | <i>DE</i> | <i>SISTEMA EEA</i> | | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------------|------------|-----------|-----------|----------|
| <i>LUMINARIAS</i> | | | | | | |
| <i>FECHA</i> | <i>A DICIEMBRE</i> | | | | | |
| | <i>2019</i> | | | | | |
| <i>Tipo de luminaria</i> | <i>Potencia</i> | <i>Ni</i> | <i>CAi</i> | <i>fu</i> | <i>Tf</i> | <i>T</i> |
| Fluorescente | 34 | 25 | 3,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Fluorescente | 20 | 189 | 4,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Incandescente | 50 | 27 | 0,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Sodio | 70 | 2891 | 11,00 | 0,500 | 0,01314 | 720 |
| Sodio | 70 | 52 | 11,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Sodio | 100 | 129 | 15,00 | 0,500 | 0,00775 | 720 |
| Sodio | 150 | 80 | 19,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Sodio | 150 | 6039 | 19,00 | 0,500 | 0,00911 | 720 |
| Sodio | 250 | 10 | 29,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Sodio | 250 | 1561 | 29,00 | 0,500 | 0,00961 | 720 |
| Sodio 150WDP 100% | 150 | 883 | 19,00 | 0,166 | 0,00000 | 720 |
| Sodio 150W DP 70% | 150 | 883 | 19,00 | 0,313 | 0,00000 | 720 |
| Sodio 250WDP 100% | 250 | 2316 | 29,00 | 0,166 | 0,00000 | 720 |
| Sodio 250W DP 70% | 250 | 2316 | 29,00 | 0,313 | 0,00000 | 720 |
| Sodio | 400 | 8 | 40,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Mercurio | 70 | 20 | 10,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Mercurio | 125 | 8 | 10,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Mercurio | 125 | 43 | 10,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Mercurio | 150 | 216 | 15,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |

Anexo 1. Datos de luminarias a diciembre del 2019, SISTEMA EEA.

| <i>Tipo de luminaria</i> | <i>Potencia</i> | <i>Ni</i> | <i>CAi</i> | <i>fu</i> | <i>Tf</i> | <i>T</i> |
|--------------------------|-----------------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|
| Mercurio | 175 | 34 | 19,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Mercurio | 250 | 8 | 29,00 | 0,500 | 0,12500 | 720 |
| Led | 3 | 209 | 0,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Led | 3,6 | 228 | 0,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Led | 3,6 | 69 | 0,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Led | 5 | 12 | 0,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Led | 10 | 23 | 0,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Led | 25 | 16 | 0,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Led | 30 | 25 | 0,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Led | 90 | 71 | 0,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Led | 100 | 8 | 0,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Led | 115 | 26 | 0,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Led | 120 | 32 | 0,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Led | 150 | 39 | 0,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Led | 180 | 63 | 0,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 70 | 13 | 11,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 100 | 9 | 15,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 150 | 18 | 19,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 150 | 124 | 19,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 250 | 38 | 29,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 250 | 38 | 29,00 | 0,500 | 0,02632 | 720 |
| Reflector | 400 | 508 | 40,00 | 0,500 | 0,00591 | 720 |
| Reflector | 400 | 150 | 40,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 500 | 44 | 48,00 | 0,500 | 0,00000 | 720 |
| Reflector | 1000 | 6 | 65,00 | 0,208 | 0,00000 | 720 |
| TOTAL | | 16308 | | | 0,00699 | |

Anexo 1. Datos de luminarias a diciembre del 2019, SISTEMA EEA.

| | | |
|---|--------------------|-------------------------|
| Pi= potencia de las luminarias tipo "i" (W) | Ptot (Kw): 2985,97 | Incluye Pérdida s |
| Ni= # de luminarias tipo "i" en el primario | Ptot (Kw): 2665,92 | Sin Pérdida s |

CAi=Consumo de Auxiliares luminarias tipo "i"

fu= factor Utilización

Tf= tasa de falla

T = # de horas mes, en caso de interrupción de servicio, se procederá a descontar el número de horas del total

Para el caso de las luminarias de 250W DP, se toma el mismo número 2 veces debido a que durante un tiempo funcionan al 100% de su potencia, posteriormente funcionan al 70% de su potencia

Anexo 2. Cálculo de la DPEA y comparación de datos medidos en Geo portal vs en el campo.

| <i>Calles</i> | <i>T R A M O</i> | | <i>LUMINARIAS</i> | | <i>Vía (m)</i> | | <i>Altura</i> | <i>Longitud</i> | <i>Longitud</i> |
|--|------------------|---------------|-------------------|--------------------|----------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | <i>#</i> | <i>PINIC.</i> | <i>PFINAL</i> | <i>Pot c/a (W)</i> | <i>Ancho</i> | <i>Ancho</i> | <i>(m)</i> | <i>(m)</i> | <i>Med</i> |
| <i>Av. HNO. Miguel</i> | | | | | | | | | |
| Av. Ignacio Neira - Av. HNO. Miguel | 1 | PHA | PHA1 | 250 | 11,4 | 12 | 11 | 37 | 37 |
| | 2 | PHA1 | PHA2 | 250 | | | 11 | 33 | 33 |
| | 3 | PHA2 | PHA3 | 150 | | | 11 | 36 | 36 |
| Av. HNO. Miguel - Miguel Santiago | 4 | PHA3 | PHA4 | 250 | 11 | 11 | 11 | 34 | 34 |
| | 5 | PHA4 | PHA5 | 150 | | | 11 | 36 | 36 |
| | 6 | PHA5 | PHA6 | 250 | | | 11 | 34 | 34 |
| | 7 | PHA6 | PHA7 | 150 | | | 11 | 40 | 40 |
| | 8 | PHA7 | PHA8 | 250 | | | 11 | 32 | 32 |
| | 9 | PHA8 | PHA9 | 250 | | | 11 | 35 | 35 |

Anexo 2. Cálculo de la DPEA y comparación de datos medidos en Geo portal vs en el campo.

Av. HNO. Miguel - S/N

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-----|------|----|----|----|----|
| 10 | PHA9 | PHA10 | 250 | 17,2 | 17 | 11 | 33 | 33 |
| 11 | PHA10 | PHA11 | 150 | | | 11 | 36 | 36 |
| 12 | PHA11 | PHA12 | 150 | | | 11 | 41 | 41 |
| 13 | PHA12 | PHA13 | 250 | | | 11 | 40 | 40 |
| 14 | PHA13 | PHA14 | 150 | | | 11 | 31 | 31 |
| 15 | PHA14 | PHA15 | 250 | | | 11 | 42 | 43 |

Av. HNO. Miguel - Av.

Che Guevara

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-----|------|----|----|----|----|
| 16 | PHA15 | PHA16 | 250 | 11,4 | 12 | 11 | 25 | 25 |
| 17 | PHA16 | PHA17 | 250 | | | 11 | 68 | 68 |
| 18 | PHA17 | PHA18 | 150 | | | 12 | 23 | 23 |
| 19 | PHA18 | PHA19 | 150 | | | 11 | 36 | 36 |
| 20 | PHA19 | PHA20 | 70 | | | 11 | 40 | 40 |
| 21 | PHA20 | PHA21 | 150 | | | 11 | 32 | 32 |
| 22 | PHA21 | PHA22 | 150 | | | 11 | 35 | 35 |
| 23 | PHA22 | PHA23 | 150 | | | 9 | 36 | 36 |

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-----|--|--|---|----|----|
| 24 | PHA23 | PHA24 | 150 | | | 9 | 36 | 36 |
|----|-------|-------|-----|--|--|---|----|----|

Anexo 2. Cálculo de la DPEA y comparación de datos medidos en Geo portal vs en el campo.

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-----|--|--|---|----|----|
| 25 | PHA24 | PHA25 | 150 | | | 9 | 45 | 45 |
|----|-------|-------|-----|--|--|---|----|----|

| | | | | | | | | |
|----|-------|--|----|--|--|---|----|----|
| 26 | PHA25 | | 70 | | | 9 | 52 | 52 |
|----|-------|--|----|--|--|---|----|----|

| | | | | | | | | |
|--|--|--|------|-------|----|--|-----|-----|
| | | | 4840 | 12,75 | 13 | | 968 | 969 |
|--|--|--|------|-------|----|--|-----|-----|

Área (m²)

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|-------|-------|
| | | | | | | | 12342 | 12597 |
|--|--|--|--|--|--|--|-------|-------|

DPEA (W/m²)

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|------|------|
| | | | | | | | 0,39 | 0,38 |
|--|--|--|--|--|--|--|------|------|

Anexo 3. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS SECUNDARIAS DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| N° | Nombre | Potencia (W) | Área (m ²) | DPEA (W/m ²) calculada | Vel (Km/h) | Clase de vía | Ancho (m) | Epro m (lx) | DPEA max (W/m ²) | Cumple | DPEA min (W/m ²) | Iluminación |
|----|------------------------|-----------------|---------------------------|--|---------------|--------------------|--------------|----------------|------------------------------------|--------|------------------------------------|-------------|
| 1 | C. Luis Cordero | 6900 | 9023 | 0,76 | 30 | M3 | 11,38 | 18 | 1,1 | SI | 0,32 | Bien |
| 2 | C. Oriente | 5580 | 11506 | 0,48 | 40 | M2 | 12,69 | 23 | 1,33 | SI | 0,41 | Bien |
| 3 | C. Batalla de Ayacucho | 1900 | 3074 | 0,62 | 30 | M3 | 11,3 | 18 | 1,1 | SI | 0,32 | Bien |
| 4 | Av. Aurelio Jaramillo | 4370 | 7851 | 0,56 | 30 | M3 | 14,93 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 5 | Av. Andrés F. Córdova | 9550 | 19328 | 0,49 | 40 | M2 | 15,82 | 23 | 1,33 | SI | 0,41 | Bien |
| 6 | Av. Che Guevara | 4830 | 19171 | 0,25 | 30 | M3 | 21,07 | 18 | 1,04 | NO | 0,32 | Falta |

Anexo 3. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS SECUNDARIAS DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------|-------|-------|------|----|----|-------|----|------|----|------|-------|
| 7 | Av. 24 de Mayo | 37050 | 56969 | 0,65 | 40 | M2 | 17,65 | 23 | 1,33 | SI | 0,41 | Bien |
| 8 | Av. Juan Bautista | 4120 | 7473 | 0,55 | 30 | M3 | 16,32 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 9 | Av. Francisco Carrasco | 9440 | 28910 | 0,32 | 30 | M3 | 16,07 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 10 | Av. Rumiñahui | 4950 | 16264 | 0,3 | 30 | M3 | 17,12 | 18 | 1,04 | NO | 0,32 | Falta |
| 11 | Av. González Suarez | 8650 | 14725 | 0,59 | 50 | M2 | 12,45 | 23 | 1,33 | SI | 0,41 | Bien |
| 12 | Av. De los Alcaldes | 3950 | 11864 | 0,33 | 30 | M3 | 22,3 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 13 | Av. De los Cañaris | 2050 | 6101 | 0,34 | 30 | M3 | 14,03 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 14 | C. Miguel Heredia Crespo | 3430 | 7837 | 0,44 | 30 | M3 | 11,26 | 18 | 1,1 | SI | 0,32 | Bien |

Anexo 3. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS SECUNDARIAS DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------|-------|-------|------|----|----|-------|----|------|----|------|-------|
| 15 | Av. 16 de Abril | 36000 | 60800 | 0,59 | 50 | M2 | 16 | 23 | 1,33 | SI | 0,41 | Bien |
| 16 | C. Luis M. González | 920 | 2585 | 0,36 | 30 | M3 | 12,25 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 17 | C. Ignacio de Veintimilla | 6450 | 9562 | 0,67 | 30 | M3 | 11,51 | 18 | 1,1 | SI | 0,32 | Bien |
| 18 | Av. HRN. Miguel | 4840 | 12342 | 0,39 | 40 | M2 | 12,75 | 23 | 1,33 | NO | 0,41 | Falta |
| 19 | Av. Ignacio Neira | 6640 | 1227 | 0,35 | 40 | M2 | 15,65 | 23 | 1,33 | NO | 0,41 | Falta |
| 20 | Av. Homero Catanier Crespo | 4310 | 18421 | 0,23 | 30 | M3 | 19,85 | 18 | 1,04 | NO | 0,32 | Falta |
| 21 | C. Emilio Abad | 6100 | 8194 | 0,74 | 30 | M3 | 9,35 | 18 | 1,2 | SI | 0,32 | Bien |
| 22 | Av. Miguel V. Jaramillo | 6950 | 12454 | 0,56 | 50 | M2 | 17,77 | 23 | 1,33 | SI | 0,41 | Bien |
| 23 | C. Cuatro de Noviembre | 2700 | 5374 | 0,5 | 30 | M3 | 15,23 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |

Anexo 4. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS COLECTORAS DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| N° | Nombre | Potencia (W) | Área (m ²) | DPEA (W/m ²) calculada | Vel (Km/h) | Clase de vía | Ancho (m) | Epr om (lx) | DPEA max (W/m ²) | Cump le | DPEA min (W/m ²) | Iluminación |
|----|-----------------------------|-----------------|---------------------------|--|---------------|-----------------|--------------|-------------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|-------------|
| 1 | C. San Francisco | 5110 | 3722 | 1,37 | 20 | M4 | 12,25 | 12 | 0,69 | NO | 0,21 | Sobre |
| 2 | C. Azuay | 5950 | 9839 | 0,77 | 20 | M4 | 11,95 | 12 | 0,74 | NO | 0,21 | Sobre |
| 3 | C. Bartolomé Serrano | 5570 | 9041 | 0,62 | 20 | M4 | 10,6 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 4 | C. Fray Vicente Solano | 2900 | 3587 | 0,81 | 20 | M4 | 9,1 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 5 | C. Tres de Noviembre | 5570 | 10356 | 0,54 | 20 | M4 | 12,64 | 12 | 0,69 | SI | 0,21 | Bien |
| 6 | C. Antonio José de Sucre | 4500 | 6954 | 0,65 | 20 | M4 | 10,6 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 7 | C. Diez de Agosto | 4000 | 5577 | 0,72 | 20 | M4 | 11,27 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 8 | C. Cacique Tenemaza | 3450 | 4300 | 0,8 | 20 | M4 | 11 | 12 | 0,74 | NO | 0,21 | Sobre |

Anexo 4. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS COLECTORAS DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------|-------|-------|------|----|----|-------|----|------|----|------|-------|
| 9 | Av. Gral. Enríquez | 4050 | 7016 | 0,58 | 30 | M3 | 12,85 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 10 | C. Benigno Rivera | 4250 | 4527 | 0,94 | 20 | M4 | 9,33 | 12 | 0,81 | NO | 0,21 | Sobre |
| 11 | C. Julio María Matovelle | 2250 | 2106 | 1,07 | 20 | M4 | 9,47 | 12 | 0,81 | NO | 0,21 | Sobre |
| 12 | C. García Moreno | 1100 | 3391 | 0,32 | 30 | M3 | 18,13 | 18 | 1,04 | SI | 0,32 | Bien |
| 13 | C. Simón Bolívar | 11510 | 15433 | 0,75 | 20 | M4 | 10,63 | 12 | 0,74 | NO | 0,21 | Sobre |
| 14 | C. José Joaquín de Olmedo | 2560 | 6323 | 0,4 | 30 | M3 | 11,11 | 18 | 1,1 | SI | 0,32 | Bien |
| 15 | Av. de la Virgen | 1950 | 3920 | 0,5 | 20 | M4 | 13,07 | 12 | 0,69 | SI | 0,21 | Bien |
| 16 | C. Samuel Abad | 1820 | 3725 | 0,49 | 20 | M4 | 18,63 | 12 | 0,69 | SI | 0,21 | Bien |
| 17 | C. Trajano Carrasco Baquero | 4660 | 11030 | 0,42 | 50 | M2 | 11,28 | 23 | 1,41 | SI | 0,41 | Bien |
| 18 | C. Manuel Agustín Aguirre | 4900 | 6960 | 0,7 | 20 | M4 | 10,74 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 19 | C. Honorato Vázquez | 2150 | 2843 | 0,76 | 30 | M3 | 8,78 | 18 | 1,2 | SI | 0,32 | Bien |
| 20 | C. Benigno Malo | 3100 | 2606 | 1,19 | 20 | M4 | 8,38 | 12 | 0,81 | NO | 0,21 | Sobre |

Anexo 4. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS COLECTORAS DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------------|------|-------|------|----|----|-------|----|------|----|------|-------|
| 21 | C. Agosto Sacóto Arias | 4120 | 7728 | 0,53 | 20 | M4 | 12,27 | 12 | 0,69 | SI | 0,21 | Bien |
| 22 | C. Luis Ariosto Muñoz | 2000 | 2139 | 0,94 | 20 | M4 | 6,86 | 12 | 0,86 | NO | 0,21 | Sobre |
| 23 | C. Alfonso Vintimilla Lituma | 2070 | 5123 | 0,4 | 20 | M4 | 11 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 24 | C. Rafael María García | 970 | 1402 | 0,69 | 20 | M4 | 11,4 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 25 | C. Ingapirca | 4060 | 11339 | 0,36 | 30 | M3 | 10,8 | 18 | 1,1 | SI | 0,32 | Bien |
| 26 | C. Atahualpa | 2010 | 2527 | 0,8 | 20 | M4 | 8,57 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 27 | C. Medardo Ángel Silva | 1650 | 2894 | 0,57 | 20 | M4 | 9,98 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 28 | C. Humberto Vicuña Novillo | 2570 | 4824 | 0,53 | 20 | M4 | 10,72 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 29 | C. Imbabura | 1150 | 1507 | 0,76 | 20 | M4 | 11,87 | 12 | 0,74 | NO | 0,21 | Sobre |
| 30 | C. Alberto Ochoa | 2300 | 2632 | 0,87 | 20 | M4 | 15,48 | 12 | 0,69 | NO | 0,21 | Sobre |
| 31 | C. Carlos Aguilar Vázquez | 2050 | 3066 | 0,67 | 20 | M4 | 9,41 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |

Anexo 5. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS LOCALES DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| N° | Nombre | Potencia (W) | Área (m ²) | DPE A (W/m ²) calculada | Vel (Km/h) | Clase de vía | Ancho (m) | Epr om (lx) | DPEA max (W/m ²) | Cum ple | DPEA min (W/m ²) | Ilumina ción |
|----|------------------------------|-----------------|---------------------------|--|---------------|-----------------|--------------|-------------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|-----------------|
| 1 | C. Vicente Aurelio Crespo | 1700 | 3010 | 0,56 | 20 | M4 | 8,75 | 12 | 0,81 | SI | 0,1 | Bien |
| 2 | C. Vicente Cabrera | 1050 | 1938 | 0,54 | 20 | M4 | 13,84 | 12 | 0,69 | SI | 0,21 | Bien |
| 3 | C. Portoviejo | 440 | 690 | 0,64 | 20 | M4 | 8,12 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 4 | C. Chimborazo | 680 | 1302 | 0,52 | 20 | M4 | 9,5 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 5 | C. Napo | 540 | 1310 | 0,41 | 20 | M4 | 10,57 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 6 | C. Cotopaxi | 660 | 1215 | 0,54 | 20 | M4 | 8,38 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 7 | C. Machala | 140 | 419 | 0,33 | 20 | M4 | 6,25 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 8 | C. Esmeraldas | 140 | 617 | 0,23 | 20 | M4 | 9,8 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 9 | C. Ambato | 1150 | 2092 | 0,55 | 20 | M4 | 8,83 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 10 | C. Humberto Rodríguez | 450 | 892 | 0,5 | 20 | M4 | 9,81 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |

Anexo 5. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS LOCALES DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------------------------|------|------|------|----|----|-------|----|------|----|------|-------|
| 22 | C. Carlos Cueva Tamariz | 300 | 542 | 0,55 | 20 | M4 | 8,75 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 23 | C. Carlos Domínguez Tapia | 2300 | 2223 | 1,03 | 20 | M4 | 8,33 | 12 | 0,81 | NO | 0,21 | Sobre |
| 24 | C. Benjamín Carrión | 540 | 804 | 0,67 | 20 | M4 | 6,7 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 25 | C. José de la Cuadra | 660 | 1660 | 0,4 | 20 | M4 | 9,17 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 26 | C. Eugenio Espejo | 960 | 2000 | 0,48 | 20 | M4 | 8,4 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 27 | C. José Peralta | 370 | 1016 | 0,36 | 20 | M4 | 11,55 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 28 | C. Sta. María | 2320 | 3937 | 0,59 | 30 | M3 | 7,6 | 18 | 1,26 | SI | 0,32 | Bien |
| 29 | C. Oswaldo Idrovo | 590 | 1009 | 0,58 | 20 | M4 | 7,16 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 30 | C. Ángel Montalvo | 300 | 355 | 0,84 | 20 | M4 | 5,92 | 12 | 0,91 | SI | 0,21 | Bien |
| 31 | C. Pizar Cápac | 500 | 455 | 1,1 | 20 | M4 | 7 | 12 | 0,86 | NO | 0,21 | Sobre |
| 32 | C. Los Olivos | 620 | 1091 | 0,57 | 10 | M4 | 7,13 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |

Anexo 5. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS LOCALES DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------|------|------|------|----|----|------|----|------|----|------|-------|
| 33 | C. Los Laureles | 550 | 497 | 1,11 | 20 | M4 | 7,42 | 12 | 0,86 | NO | 0,21 | Sobre |
| 34 | C. Cas picara | 750 | 1063 | 0,71 | 20 | M4 | 8,37 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 35 | C. Cacha | 620 | 1290 | 0,48 | 20 | M4 | 8,72 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 36 | C. Los Eucaliptos | 470 | 583 | 0,81 | 10 | M4 | 5,3 | 12 | 0,91 | SI | 0,21 | Bien |
| 37 | C. Aníbal López | 600 | 1062 | 0,57 | 10 | M4 | 11 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 38 | C. Víctor Rojas | 440 | 1048 | 0,42 | 10 | M4 | 7,94 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 39 | C. Emilio Reyes | 900 | 926 | 0,97 | 20 | M4 | 8,13 | 12 | 0,81 | NO | 0,21 | Sobre |
| 40 | C. Biblián | 440 | 366 | 1,2 | 20 | M4 | 5,9 | 12 | 0,91 | NO | 0,21 | Sobre |
| 41 | C. Déleg | 140 | 198 | 0,71 | 20 | M4 | 5,08 | 12 | 0,91 | SI | 0,21 | Bien |
| 42 | C. Sonia Andrade | 1040 | 1227 | 0,85 | 20 | M4 | 6,82 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 43 | C. Jaime Vélez | 2290 | 4316 | 0,53 | 20 | M4 | 6,95 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 44 | C. El Tambo | 440 | 383 | 1,15 | 20 | M4 | 5,24 | 12 | 0,91 | NO | 0,21 | Sobre |
| 45 | C. Aurelio Falconi | 440 | 706 | 0,62 | 20 | M4 | 8,3 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 46 | C. Oswaldo Guayasamín | 1850 | 1931 | 0,96 | 20 | M4 | 7,98 | 12 | 0,86 | NO | 0,21 | Sobre |

Anexo 5. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS LOCALES DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------------|------|------|------|----|----|-------|----|------|----|------|-------|
| 47 | C. Fausto Andrade B. | 1940 | 4716 | 0,41 | 30 | M3 | 10,08 | 18 | 1,1 | SI | 0,32 | Bien |
| 48 | C. Eduardo Jara A | 750 | 687 | 1,09 | 20 | M4 | 7,47 | 12 | 0,86 | NO | 0,21 | Sobre |
| 49 | C. Cojitambo | 220 | 198 | 1,11 | 20 | M4 | 4,3 | 12 | 0,91 | NO | 0,21 | Sobre |
| 50 | C. Zhindiling | 140 | 247 | 0,57 | 10 | M4 | 3,63 | 12 | 0,91 | SI | 0,21 | Bien |
| 51 | C. Víctor Miguel Crespo | 510 | 1167 | 0,44 | 10 | M4 | 8,05 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 52 | C. Vicente Ayora Ortega | 300 | 966 | 0,31 | 10 | M4 | 10,5 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 53 | C. Luis Bravo González | 1650 | 2124 | 0,78 | 20 | M4 | 9,12 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 54 | C. Guayas | 1100 | 2321 | 0,47 | 20 | M4 | 12,75 | 12 | 0,69 | SI | 0,21 | Bien |
| 55 | C. Dumac | 300 | 607 | 0,49 | 20 | M4 | 10,11 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 56 | C. Ezequiel Sigüenza | 470 | 301 | 1,56 | 20 | M4 | 7,16 | 12 | 0,86 | NO | 0,21 | Sobre |
| 57 | C. Patricio Montero | 500 | 488 | 1,02 | 20 | M4 | 10,85 | 12 | 0,74 | NO | 0,21 | Sobre |
| 58 | C. Luis Reyes H | 750 | 1017 | 0,74 | 20 | M4 | 8,93 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |

Anexo 5. DATOS, CÁLCULO, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA DPEA DE LAS VÍAS LOCALES DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE AZOGUES

| | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------|-----|------|------|----|----|-------|----|------|----|------|-------|
| 59 | C. Emilio Izquierdo | 220 | 1219 | 0,18 | 20 | M4 | 10,6 | 12 | 0,74 | NO | 0,21 | Falta |
| 60 | C. Vicente Maldonado | 140 | 572 | 0,24 | 20 | M4 | 6,43 | 12 | 0,86 | SI | 0,21 | Bien |
| 61 | C. Luis Pozo Tamariz | 300 | 617 | 0,49 | 20 | M4 | 11,65 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
| 62 | C. Jaime León Romero | 850 | 1457 | 0,58 | 20 | M4 | 10,05 | 12 | 0,81 | SI | 0,21 | Bien |
| 63 | C. Celio Romero Vicuña | 750 | 1234 | 0,61 | 20 | M4 | 10,12 | 12 | 0,74 | SI | 0,21 | Bien |
