

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA”

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

AUTORES:

FRANKLIN MAURICIO MAYAGUARI ZHUNIO

CI: 0105157176

PEDRO ANDRÉS VILLA VILLA

CI: 0105226161

DIRECTOR:

ING. MODESTO ENRIQUE SALGADO RODRÍGUEZ

CI: 0101109858

TUTORES:

ING. GIOVANNI SANTIAGO PULLA GALINDO

CI: 0101671097

ING. JORGE SANTIAGO MACHADO SOLÍS

CI: 0102863388

CUENCA - ECUADOR

2017



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Resumen

La Empresa encargada de brindar el servicio de alumbrado público a la ciudad de Cuenca es la Empresa Regional CENTROSUR, la cual ha visto la necesidad de determinar la eficiencia energética del sistema de alumbrado público en el área urbana de la ciudad de Cuenca, por esta razón el propósito de la presente investigación consiste en la identificación de las vías que tienen un uso racional y eficiente de la energía y el planteamiento de alternativas que permitan un mejor uso de la misma.

Para ello fue necesario la recopilación de información relacionada con los conceptos básicos que engloba el sistema de alumbrado público y los criterios de eficiencia energética, estableciendo al final como normas guía a la Regulación 005/14 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en la actualidad la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), el cual propone como indicador de eficiencia energética a la Densidad de Potencia para Alumbrado de vías (DPEA).

En segunda instancia se procedió al cálculo de los parámetros necesarios para la determinación de la DPEA de las vías de la ciudad y mediante una clasificación de estas, en base a la velocidad circulación vehicular y a las características propias de cada una de ellas, identificar cuales cumplen con el criterio de la DPEA, y proponer alternativas para las vías que no cumplen con los valores establecidos por el RETILAP. Finalmente se exponen los resultados, conclusiones y recomendaciones del tema.

PALABRAS CLAVES: Alumbrado público, Eficiencia Energética, ARCONEL, RETILAP, SIGADE, Densidad de Potencia para Alumbrado de vías (DPEA), Relación de Eficiencia Energética (EER), Clase de iluminación, Ahorro energético.



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Abstract

The Company in charge of providing the public lighting service to the city of Cuenca is the Regional Company CENTROSUR, which has seen the need to determine the energy efficiency of the public lighting system in the urban area of the city of Cuenca, hence the purpose of the present investigation consisted in the identification of the ways that have a rational and efficient use of the energy and the approach of alternatives that allow a better use of the same one.

To do this, it was necessary to gather information related to the basic concepts that encompasses the public lighting system and energy efficiency criteria, being taken at the end as guiding rules to Regulation 005/14 issued by the National Electricity Council (CONELEC), (ARCONEL) and the Technical Regulation on Lighting and Public Lighting (RETILAP), which proposes the Power Density for Road Lighting (DPEA) as an indicator of energy efficiency.

In the second instance, we proceeded to calculate the parameters necessary for the determination of the DPEA of the city's roads and through a classification of these, based on the speed vehicular circulation and the characteristics of each one of them, identify which they fulfill with the criterion of the DPEA, and propose alternatives for roads that do not comply with the values established by RETILAP. Finally, the results, conclusions and recommendations of the topic are presented

KEY WORDS: Public Lighting, Energy Efficiency, ARCONEL, RETILAP, DMFAS, Power Density for Roadway Lighting (DPEA), Energy Efficiency Ratio (EER), Lighting class, Energy saving.



ÍNDICE

Resumen.....	2
Abstract	3
Capítulo 1	17
1.1 INTRODUCCIÓN.....	17
1.2 ANTECEDENTES	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.4 ALCANCE	19
1.5 METODOLOGÍA.....	19
1.6 OBJETIVOS	20
1.6.1 Objetivo General.....	20
1.6.2 Objetivos específicos	20
Capítulo 2.....	21
CONCEPTOS GENERALES E INDICADORES DEL ALUMBRADO PÚBLICO.....	21
Introducción	21
2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACIÓN DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO [1]	21
2.1.1 Complejidad y la velocidad de la vía	21
2.1.2 Control de tráfico	21
2.1.3 Separación	21
2.1.4 Tipos de usuarios de la vía	22
2.2 REQUISITOS DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO [1]	22
2.2.1 Visibilidad	22
2.2.2 Cantidad y Calidad de luz.....	22
2.2.3 Seguridad.....	22
2.2.4 Confiabilidad de percepción	23
2.2.5 Comodidad visual	23
2.2.6 Evaluación económica y financiera.....	23
2.2.7 Uso racional y eficiente de la energía	23
2.3 ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO [1]	23
2.3.1 Parámetros fotométricos.....	23
2.3.1.1 Luminancia promedio de la calzada (L_{av})	23
2.3.1.2 Uniformidad general de luminancia de la calzada (U₀)	24
2.3.1.3 Uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L)	24
2.3.1.4 Deslumbramiento.....	24
2.3.1.5 Relación de alrededores (SR).....	24
2.3.2 Vías para tráfico motorizado	25



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



2.3.2.1 Clase de iluminación según el tipo de vías [3]	25
2.3.2.2 Parámetros fotométricos [3].....	26
2.3.3 Vías peatonales	26
2.3.3.1 Clase de iluminación según el tipo de vías [3]	27
2.3.3.2 Parámetros fotométricos [3].....	28
2.3.4 Sistemas especiales de iluminación	28
2.3.4.1 Zonas de conflicto.....	28
2.3.4.2 Parámetros fotométricos para zonas en conflicto [3]	29
2.4 CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ILUMINACIÓN [5]	30
2.4.1 Disposición Unilateral.....	31
2.4.2 Bilateral opuesta	31
2.4.3 Central doble	31
2.4.4 Central-Lateral (3 luminarias).....	32
2.4.5 Central-Bilateral (4Luminarias).....	32
2.4.6 Tresbolillo	33
2.4.7 Tresbolillo (4 luminarias).....	33
2.4.8 Tresbolillo (6 luminarias).....	33
2.4.9 Disposición en curvas	34
2.4.10 En cruces	34
2.4.11 Disposición en calzadas con pendiente.....	35
2.5 CRITERIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO [1]	35
2.5.1 Criterios de eficiencia energética en el diseño del alumbrado público	36
2.5.2 Criterios de eficiencia energética en la utilización.....	37
2.5.3 Criterios de eficiencia energética en el mantenimiento.....	38
2.6 USO RACIONAL DE ENERGÍA EN ALUMBRADO PÚBLICO [2]	40
2.6.1 Máxima densidad de potencia eléctrica para sistemas de alumbrado público	40
2.7 REGULACIÓN 005/14 CONELEC (PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL) [3]	42
2.7.1 Obligaciones de las empresas distribuidoras	42
2.7.2 Disposiciones generales	43
Capítulo 3	45
SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ECUADOR Y EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	45
Introducción	45
3.1 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ECUADOR	45
3.1.1 Facturación (MUSD) de energía (GWh) [10]	46
3.1.2 Relación [CR/Li] del Ecuador [10].....	47
3.1.3 Relación [WAP/CR] del Ecuador [10].....	48



3.1.4 Tipos de luminarias utilizadas [11]	49
3.2 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA.....	49
3.2.1 Reseña histórica y evolución del alumbrado público en la ciudad de Cuenca	50
3.2.1.1 Reseña histórica del alumbrado	50
3.2.1.2 Reseña histórica del alumbrado en Cuenca	51
3.2.2 Crecimiento del sistema de alumbrado público en la ciudad de Cuenca	53
3.2.3 Relación [CR/Li] en la ciudad de Cuenca [20]	53
3.2.4 Relación [WAP/CR] en la ciudad de Cuenca [20]	53
3.2.5 Sectorización del alumbrado [16]	53
3.2.6 Sistema de distribución eléctrica para el alumbrado.....	54
3.2.7 Distribución (Disposición) del alumbrado	55
3.2.8 Tipos de luminarias utilizadas	57
3.2.9 Normativa de la CENTROSUR en cuanto a diseños lumínicos ..	59
3.2.9.1 Luminarias	60
3.2.9.2 Postes utilizados.....	61
3.2.10 Calidad del servicio.....	61
3.2.10.1 Satisfacción del cliente con el servicio de alumbrado público .	63
3.2.11 Gestión energética [16].....	64
3.2.11.1 Políticas energéticas.....	64
3.2.11.2 Uso de la iluminación.....	65
3.2.11.3 Elementos de control	65
3.2.11.4 Restricciones de horario del servicio de alumbrado	66
3.2.12 Criterios de iluminación del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Cuenca.....	67
Capítulo 4	68
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD POTENCIA.....	68
Introducción	68
4.1 CÁLCULO DE LA DPEA.....	68
4.1.1 Consideraciones para el cálculo de la DPEA.....	68
4.1.2 Metodología	69
4.1.2.1 Cálculo de área de las vías de la ciudad de Cuenca	69
4.1.3 Cálculo de la potencia de las luminarias	74
4.1.4 Cálculo de la DPEA	77
4.1.4.1 Comparación de la DPEA entre luminarias de sodio y Led	78
4.1.5 Cálculo de la Relación de Eficiencia Energética (EER)	79
4.1.6 Ancho de las vías	79
4.1.6.1 Error en las mediciones del ancho de las vías.....	80
Capítulo 5	82
Introducción	82



5.1 NIVEL DE ILUMINANCIA PROMEDIO	82
5.1.1 Red vial de la ciudad de Cuenca [12]	82
Tipos de vías	82
5.1.2 Clases de iluminación.....	84
5.1.3 Clases de iluminación para las vías de la ciudad de Cuenca.....	85
5.1.4 Valores de iluminancia promedio de las vías de la ciudad de Cuenca	86
5.1.5 Ancho de calzada	88
5.2 DPEA MÍNIMA.....	88
5.3 ANÁLISIS DE LA DPEA E ILUMINANCIA	89
5.4 ANÁLISIS DEL EER.....	92
5.4.1 Análisis de iluminación de un tramo de la autopista Cuenca – Azogues	92
5.5 PROPUESTAS PARA EL AHORRO ENERGÉTICO	93
5.5.1 Desmontaje de alumbrado innecesario.....	93
5.5.2 Disminución de la potencia instalada	94
5.5.3 Sustitución de luminarias actuales por luminarias de tecnología Led.....	94
5.5.4 Implementación de un sistema de telegestión	95
Capítulo 6	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
Conclusiones	97
Recomendaciones	99
Bibliografía.....	101
Anexos	104
Anexo 1. Plano de la zonificación del alumbrado público de la ciudad de Cuenca. [5]	104
Anexo 2. Catastro de luminarias por tipo de Cuenca [21].....	105
Anexo 3. Parámetros para el cálculo de la DPEA. Resultados del análisis de la DPEA para las vías de la parte urbana de la ciudad de Cuenca.....	108
Anexo 3.1 Parámetros, cálculo del DPEA y verificación de la norma de las avenidas.....	108
Anexo 3.2 Parámetros, cálculo del DPEA y verificación de la norma de las calles	110
Anexo 3.3 Parámetros, cálculo del DPEA y verificación de la norma de los retornos	112



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Franklin Mauricio Mayaguari Zhunio, autor del Trabajo de Titulación “CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA” reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, febrero de 2017

FRANKLIN MAURICIO MAYAGUARI ZHUNIO

C.I: 0105157176



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Pedro Andrés Villa Villa, autor del Trabajo de Titulación “CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA” reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, febrero de 2017

PEDRO ANDRÉS VILLA VILLA

C.I.: 0105226161



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Franklin Mauricio Mayaguari Zhunio autor del Trabajo de Titulación “CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, febrero de 2017

FRANKLIN MAURICIO MAYAGUARI ZHUNIO

C.I: 0105157176



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Pedro Andrés Villa Villa autor del Trabajo de Titulación “CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, febrero de 2017

Pedro Andrés Villa Villa

C.I: 0105226161



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Universidad de Cuenca

Certifico que el trabajo de titulación “CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA” ha sido desarrollado por los señores estudiantes: Franklin Mauricio Mayaguari Zhunio con C.I 0105157176 y Pedro Andrés Villa Villa con C.I 0105226161.

Cuenca, febrero de 2017

Ing. Modesto Enrique Salgado Rodríguez
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Universidad de Cuenca

Los tutores de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, certifican que el trabajo de tesis “CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA” ha sido desarrollado por los señores estudiantes: Franklin Mauricio Mayaguari Zhunio con C.I 0105157176 y Pedro Andrés Villa Villa con C.I 0105226161.

Cuenca, febrero de 2017

Ing. Giovanni Santiago Pulla Galindo
JEFE DPTO. DE ALUMBRADO PÚBLICO
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Jorge Santiago Machado Solís
SUPERINTENDENTE DPTO. DE ESTUDIOS TÉCNICOS
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



**CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA –
EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR**



**ESTA TESIS HA SIDO DESARROLLADA DENTRO DEL CONVENIO ENTRE
LA UNIVERSIDAD DE CUENCA Y LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL
CENTRO SUR.**



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermana por ser los pilares fundamentales para que yo pueda culminar esta etapa de mi vida, a mi familia por haberme brindado la fuerza y apoyo que me ha permitido llegar hasta donde estoy.

De la misma manera agradezco a mi amigo y compañero Pedro, ya que gracias al equipo formado se pudo culminar con esta meta. Por último agradezco a mis amigos que me brindaron su amistad durante mi vida académica, de manera muy especial a Andrea por su apoyo incondicional.

Franklin Mayaguari

Primero agradezco a Dios por colmarme de bendiciones y acompañare a lo largo de mi vida. A mis padres por el apoyo y la confianza que me brindan; gracias por los consejos y el amor que me han ayudado para culminar esta etapa de mi vida. Así mismo, agradezco a mis hermanos y sobrinos por compartir tantos momentos inolvidables.

Finalmente, a mis amigos que me brindaron su ayuda y compañía en el transcurso de mi vida académica, gracias por su amistad y ser parte importante de mi vida.

Pedro Villa

Un agradecimiento especial a nuestro tutor, el Ingeniero Modesto Salgado Rodríguez por su apoyo y colaboración para la culminación de este trabajo de titulación.

A la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, por brindarnos la confianza para la elaboración de este documento. De manera especial a los tutores de la Empresa al Ing. Santiago Pulla y al Ing. Santiago Machado por el tiempo brindado y sus conocimientos compartidos.

A la Universidad de Cuenca por la acogida brindada, a nuestros profesores por brindarnos toda su sabiduría y conocimiento para nuestra formación como profesionales.

Los Autores



DEDICATORIAS

Dedico este trabajo de titulación a mis padres y de manera especial a mi madre quien ha sido parte fundamental en mi formación como persona y mi apoyo en todo momento. A mi hermana, tía, prima y abuela, gracias por apoyarme y brindarme su cariño.

Franklin Mayaguari

A mis padres Rolando y Mariana quienes son la guía y modelo en mi vida, a mis hermanos Sandra, Lourdes, William, Edison y Sonia que siempre creyeron en mí, además de demostrarme su cariño y apoyo en todo momento. A mis sobrinos Jorge, Carolina, Nayeli, Iann y Andrés quienes son inspiración para superarme cada día. Sin duda han sido el pilar fundamental para lograr esta meta.

Pedro Villa



CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de alumbrado público constituye uno de los servicios fundamentales dentro de un país, debido a que brinda confort y seguridad a sus habitantes, permite el desarrollo de diferentes actividades en horarios nocturnos, lo cual activa la economía del lugar, además, contribuye en la iluminación ornamental de ciertos espacios públicos.

Al ser el alumbrado público un servicio tan importante, requiere que sea evaluado bajo el criterio de la eficiencia energética, puesto que no siempre un mayor consumo energético equivale a un mejor servicio, motivo por el cual, en el presente trabajo de titulación se analiza la eficiencia energética del sistema de alumbrado público del área urbana de la ciudad de Cuenca bajo el concepto de la Densidad de Potencia para Alumbrado de vías.

La Densidad de Potencia para Alumbrado de vías tiene como variables la carga total conectada para el alumbrado, el área total de las vías iluminadas y el valor promedio de iluminancia según las características de la vía.

La información referente a la carga total de las luminarias, conectada en cada una de las vías de la ciudad de Cuenca se extrae de la base de datos proporcionada por el Departamento de Análisis y Sistemas Geográficos de Distribución (SIGADE) de la Empresa Regional CENTROSUR, en cuanto que el área de las vías se calcula a partir de la información facilitada por el Municipio de Cuenca. El valor de la iluminancia promedio de las vías se obtiene luego de clasificarlas en base a sus velocidades de circulación y a las características propias de cada vía.

Finalmente se identifican las vías que cumplen con el criterio de eficiencia energética y correctos niveles de iluminancia, para aquellas vías cuyos valores de DPEA e iluminancia estén fuera de los rangos estipulados en las normas se plantean medidas que permitan alcanzar una adecuada iluminación y un correcto uso de la energía, de igual manera se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado luego de concluir con cada uno de los objetivos planteados en el presente trabajo.

1.2 ANTECEDENTES

La tendencia del mundo actual se orienta a la búsqueda de sistemas que consideren un uso racional y eficiente de la energía, en donde los recursos sean aprovechados al máximo, manteniendo la calidad de bienes y servicios. El sistema eléctrico no se encuentra exento de esta realidad, siendo necesario la



mejora constante en cada una sus áreas: Generación, Transmisión, Subtransmisión y Distribución. En la etapa de distribución se encuentra el alumbrado público, el cual constituye una parte esencial para el desarrollo de una ciudad o país brindando seguridad y confort a sus habitantes.

En el Ecuador el alumbrado público constituye uno de los rubros de consumo energético más significativo, según datos obtenidos del Balance Energético Nacional 2015, elaborado por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE), el consumo energético en alumbrado público constituyó el 6 % de la demanda máxima del Sistema Nacional Interconectado, lo cual evidencia la necesidad de analizar nuevas tecnologías y políticas de eficiencia energética.

Entidades como el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), se encuentran desarrollando investigaciones de eficiencia energética en alumbrado público, que podrían brindar insumos para la toma de decisiones y generar medidas que puedan aplicarse a escala nacional. En base al análisis de la información disponible se busca aportar con criterios de eficiencia energética en términos de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado de vías (DPEA) y de esta forma disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de los recursos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el uso eficiente de la energía por parte de un producto o servicio es indispensable debido a que esto asegura un desarrollo equilibrado, en donde se preserva el recurso energético. La energía empleada en el alumbrado público debe ser la mínima posible, sin descuidar los índices de calidad y continuidad establecidos en normas nacionales e internacionales.

El desarrollo del presente trabajo, pretende conocer los valores de la DPEA de las vías de la ciudad de Cuenca y con ello sugerir medidas que, de ser el caso, propendan a un uso de sistemas más eficientes. El concepto de la densidad de potencia eléctrica está relacionado al uso de fuentes de alta eficacia lumínica y luminarias de mayor eficiencia.

La reducción de los niveles de consumo de un recurso, a partir del uso eficiente del mismo, además de generar un beneficio económico para la empresa o entidad que lo administra, aporta a la preservación del ambiente, dado que los niveles de contaminación están estrechamente relacionados con las actividades empleadas para la explotación del mismo.



1.4 ALCANCE

El presente trabajo parte de la evaluación y análisis de las diferentes normas técnicas empleadas a nivel internacional para el diseño y manejo del alumbrado público, para luego adaptar tales normas a las características y exigencias propias del alumbrado público en la ciudad de Cuenca.

En lo relacionado con la eficiencia energética, la propuesta de la investigación se basa en el cálculo de la cantidad de potencia por metro cuadrado de las vías de la ciudad de Cuenca y, en base a ello, determinar qué vías cumplen las normas de referencia. Para las vías cuyos valores de densidad de potencia no cumplan con las normas establecidas, se efectuará el respectivo análisis con el fin de conocer bajo qué criterios se llegó a tales valores.

Finalmente, como resultado de la investigación se establecerán las conclusiones y recomendaciones, las mismas que podrán servir de punto de partida para futuros trabajos relacionados con la eficiencia energética del servicio del alumbrado público.

1.5 METODOLOGÍA

Para el cálculo y análisis de los valores de la Densidad de Potencia Eléctrica para el Alumbrado Público de las vías de la ciudad de Cuenca se ha adoptado la siguiente metodología:

Recopilación de Información: se recopiló información referente al tema de estudios previos y otras fuentes de consulta tales como: normas internacionales del sistema de alumbrado público, internet, libros, e información existente en la CENTROSUR. En cuanto a la información de la red vial de la ciudad se obtuvo en su mayoría de la Municipalidad de Cuenca.

Análisis de la información: se procedió a discretizar la información recopilada con la finalidad de adaptar las normas internacionales del alumbrado público a la realidad presente en la ciudad.

Cálculo y análisis de la DPEA: se calcularon los parámetros necesarios para la determinación de la DPEA y posterior a ello se identificaron las vías que cumplen el criterio de eficiencia energética.

Planteamiento de alternativas: finalmente se plantean alternativas que permitirían a las vías que no cumplen con el criterio de la DPEA, alcanzar un uso eficiente y racional de la energía.



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Determinar la densidad de potencia eléctrica (W/m^2) de las vías que conforman la ciudad de Cuenca y en base a ellos conocer si se tiene un uso racional y eficiente de la energía en el alumbrado público.

1.6.2 Objetivos específicos

- Recopilar información sobre el uso racional y eficiente de la energía en el alumbrado público de vías.
- Cálculo del área iluminada en las vías de la ciudad de Cuenca.
- Analizar el alumbrado público de las vías de la ciudad de Cuenca en función del tipo de vía y localización.
- Analizar los resultados obtenidos del cálculo de la potencia eléctrica por metro cuadrado de las vías de Cuenca.
- Establecer alternativas de eficiencia energética para el servicio de alumbrado público de la ciudad de Cuenca.



CAPÍTULO 2

CONCEPTOS GENERALES E INDICADORES DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Introducción

El presente capítulo describe los factores que deben ser considerados a la hora de diseñar un sistema de alumbrado público, estos factores permitirán escoger la solución que mejor se ajuste a las necesidades de una zona o lugar en específico, dando como resultado un servicio que cumpla con los criterios de calidad, seguridad, eficiencia y ahorro energético.

Posteriormente, se indica las normas que son aplicadas a nivel internacional, así como también las regulaciones emitidas en el país por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) para el sistema de alumbrado eléctrico.

2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACIÓN DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO[1]

El alumbrado público constituye un servicio de suma importancia dentro de la sociedad, dado que proporciona la visibilidad adecuada para el desarrollo normal de actividades peatonales y vehiculares, una correcta solución a una necesidad de alumbrado público está dada por un análisis previo de los siguientes factores:

2.1.1 Complejidad y la velocidad de la vía

Este factor hace referencia a la infraestructura de la vía, movimiento del tráfico y alrededores visuales. Se debe de considerar los siguientes puntos: número de carriles, presencia de letreros, señales de tránsito, zonas conflictivas tales como: cruces, intersecciones, estrechamiento de la vía o del número de carriles, zonas con circulación de peatones o vehículos lentos, que dificulten la circulación, rotondas, pasos a nivel, rampas, etc. o en lugares en donde resulta necesario una mayor cantidad de iluminación.

2.1.2 Control de tráfico

Se refiere a la presencia de señales de tránsito, así como la existencia de regulaciones. Los métodos de control son: semaforización, reglas de prioridad, avisos y demarcación de la vía. Cuando estos elementos no existen o son esporádicos, el control se considera escaso.

2.1.3 Separación

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.



2.1.4 Tipos de usuarios de la vía

Este factor está relacionado con los diferentes usuarios de la vía tales como: automóviles, vehículos pesados, buses, ciclistas, motociclistas y peatones.

Estos factores permiten identificar las necesidades concretas de una zona que requiere del servicio de alumbrado, y a su vez tomar las soluciones necesarias que brinden un óptimo servicio.

2.2 REQUISITOS DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO [1]

2.2.1 Visibilidad

La iluminación de un sistema de alumbrado público debe garantizar el normal desarrollo de las actividades vehiculares y peatonales, para lo cual se debe considerar la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad de luz necesaria sobre el área observada, esto se logra mediante una cuidadosa selección de la fuente y la luminaria, teniendo siempre en cuenta el desempeño fotométrico de la misma. Una buena visibilidad va de la mano de una correcta interdistancia, una altura de montaje idónea y la menor potencia eléctrica de la fuente.

2.2.2 Cantidad y Calidad de luz

Consiste en aplicar la cantidad adecuada de luz sobre un área determinada y que cumpla con las normas de calidad establecidas, permitiendo una circulación cómoda y segura de vehículos y peatones en la noche.

2.2.3 Seguridad

La seguridad consiste en permitir a los usuarios que circulen a velocidad normal y evitar un obstáculo cualquiera. El criterio de seguridad 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[2], 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. 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.

La noción de seguridad del alumbrado público en carreteras se concentra en proveer la iluminación adecuada que le permita tener al conductor una correcta circulación, por otra parte en los cascos urbanos la elección del sistema de alumbrado público se verá influenciado por la densidad, naturaleza y velocidad de circulación de otros vehículos.



2.2.4 Confiabilidad de percepción

Un objeto es percibido por el ojo humano cuando se tiene un contraste superior al requerido por el mismo, siendo este valor dependiente del ángulo con el que se mire el objeto y la distribución de la luminancia en el campo visual del observador. La iluminancia debe proporcionar: un elevado nivel de iluminación de fondo (luminancia promedio), y mantener un limitado deslumbramiento desde las fuentes de luz.[2]

2.2.5 Comodidad visual

El ambiente visual de un conductor está constituido principalmente por la visión de la calzada al frente del volante y en menor grado por la información que le puede llegar al conductor proveniente de las señales de tránsito. Por lo tanto la comodidad visual es una importante característica, debido a que la falta de la misma reduce la concentración de los conductores y su capacidad de reacción debido al cansancio que se produce en sus ojos.

2.2.6 Evaluación económica y financiera

Un proyecto de alumbrado público debe contemplar un análisis económico y financiero de los costos de inversión, operación y mantenimiento durante la vida útil del mismo, así como también debe considerar el valor de reposición al final del ciclo de vida del proyecto.

2.2.7 Uso racional y eficiente de la energía

El diseño de un sistema de alumbrado público debe de cumplir simultáneamente con los requisitos fotométricos y no exceder los valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para el Alumbrado Público (DPEA).[2]

2.3 ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO[1]

El sistema de alumbrado público deberá considerar los siguientes parámetros y niveles para vías vehiculares y peatonales.

2.3.1 Parámetros fotométricos

2.3.1.1 Luminancia promedio de la calzada (L_{av})

La luminancia promedio se define como la media aritmética de las luminancias obtenidas en los puntos de cálculo. Este es el valor mínimo que debe mantenerse a lo largo de la vida útil de la instalación, y 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.[3]



2.3.1.2 Uniformidad general de luminancia de la calzada (U_0)

Se define como la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía, tiene como finalidad mantener un nivel de iluminación uniforme en toda la vía, consiguiendo una mayor adaptación del ojo y un mejor reconocimiento de los objetos.

2.3.1.3 Uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L)

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.

2.3.1.4 Deslumbramiento

Se define como 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 la etapa inicial de la instalación, mediante la ecuación (1):

$$TI = \frac{k * E_e}{L_{va} * \theta^2} (\%) \quad (1)[4]$$

En donde:

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

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

L_{va} : Es la luminancia inicial promedio.

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

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

2.3.1.5 Relación de alrededores (SR)

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.[3]

2.3.2 Vías para tráfico motorizado

Existen seis clases de vías, estas se seleccionan en función de la vía, densidad, complejidad, separación y existencia de medios para el control del tráfico.

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.

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.

2.3.2.1 Clase de iluminación según el tipo de vías [3]

La clase de iluminación M, se determina de acuerdo a la ecuación (2):

$$M = (6 - \sum V_{ps}) \quad (2)[4]$$

En donde:

M: Es la clase de iluminación, va de M1 a M6.

$\sum V_{ps}$: Es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados en función de la Tabla 2.1, 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 2.1. Parámetros para selección de la clase de iluminación (M). [3]

Parámetro	Opciones	Valores de ponderación (Vp)	Vp seleccionado
Velocidad	Elevada	1	
	Alta	0,5	
	Moderada	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy Bajo	-1	
Composición del	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no	2	



**CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA –
EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR**



trafico	motorizado		
	Mezclado	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	
	Si	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	
	Moderada	0	
Vehículos Parqueado	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	
			$\sum V_{ps}$

De llegarse a presentar un resultado, cuyo valor no corresponda a un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio.

2.3.2.2 Parámetros fotométricos [3]

Los parámetros fotométricos para las seis clases de iluminación (M1 al M6), se definen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros fotométricos para tráfico motorizado.[3]

Clase de iluminación	Tipo de superficie				Incremento de Umbral	Relación de alrededor
	Seca		Mojada			
	$L_{av} \left(\frac{cd}{m^2} \right)$	U_o	U_f	U_o		
M1	2,0	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,40	0,70	0,15	10	0,5
M3	1,2	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,5
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,5
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,5

2.3.3 Vías peatonales

En estas áreas se debe garantizar el tráfico seguro de los peatones y ciclistas, además deben ser capaces de distinguir la textura y diseño del pavimento, la configuración de bordillos, escalones, marcas y señales.



2.3.3.1 Clase de iluminación según el tipo de vías [3]

La clase de iluminación P, se determina de acuerdo a la ecuación (3):

$$P = (6 - \sum V_{ps}) \quad (3)[4]$$

En donde:

P: Es la clase de iluminación, va de P1 a P6.

$\sum V_{ps}$: Es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados en función de la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Parámetros para selección de la clase de iluminación (P).[3]

Parámetro	Opciones	Valores de ponderación (Vp)	Vps seleccionado
Velocidad	Baja	1	
	Muy Baja	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
Composición del tráfico	Muy Bajo	-1	
	Peatones, ciclistas y tráfico motorizado	2	
	Peatones y tráfico motorizado	1	
	Peatones y ciclistas solamente	1	
	Peatones solamente	0	
Vehículos parqueados	Ciclistas solamente	0	
	Se permite	0,5	
Iluminación Ambiental	No se permite	0	
	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
			$\sum V_{ps}$

De llegarse a presentar un resultado, cuyo valor no corresponda a un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio.

2.3.3.2 Parámetros fotométricos [3]

Para vías peatonales se utilizarán valores de iluminancia horizontal, al nivel del piso. Los parámetros fotométricos para las seis clases de iluminación (P1 al P6), se presentan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Parámetros fotométricos para áreas peatonales y de tráfico de baja velocidad.[3].

Clase de iluminación	Tipo de aplicación	
	Iluminación horizontal referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio (lx)	Mínimo (lx)
P1	15,00	3,00
P2	10,00	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40

2.3.4 Sistemas especiales de iluminación

2.3.4.1 Zonas de conflicto

Se producen cuando 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 el uso de la ecuación (4).

$$C = (6 - \sum V_{ps})(4)[4]$$

En donde:

C: Es la clase de iluminación, va de C0 a C5.

$\sum V_{ps}$: Es el sumatorio de los parámetros seleccionados en función de la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Parámetros para la selección de la clase de iluminación C. [3]

Parámetro	Opciones	Valores de ponderación (Vp)	Vps seleccionado
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 del tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	
	Mezclado	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	
	Si	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías visuales	Pobre	0,5	
	Moderado o bueno	0	
			$\sum V_{ps}$

De llegarse a presentar un resultado, cuyo valor no corresponda a un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio.

2.3.4.2 Parámetros fotométricos para zonas en conflicto [3]

Para las zonas de conflicto, los parámetros fotométricos para las seis clases de iluminación (C0 al C5), se definen en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Parámetros fotométricos para zonas de conflicto. [3]

Clases de iluminación	Iluminación Promedio E(lux)	Uniformidad de la iluminación $U_o(E)$	Incremento de Umbral (%)	
			Moderada y Alta velocidad	Baja y muy Baja velocidad
C0	50	0,40	10	15
C1	30		10	15
C2	20		10	15
C3	15		15	20
C4	10		15	20
C5	7,5		15	25

Nota: Si el resultado no es un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio.



2.4 CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ILUMINACIÓN [5]

La localización de las luminarias en la vía está relacionada con el ancho de la misma (A), los requisitos lumínicos de la vía, la altura de montaje (H), el perfil de la vía, la proximidad a las redes de alta y media tensión, así como también, las facilidades para el mantenimiento y el costo de los apoyos.

La interdistancia de localización de los postes de alumbrado (S) está dada por los estudios fotométricos de iluminación de la vía, y esta distancia únicamente puede disminuirse ante la presencia de obstáculos inevitables, por ejemplo: sumideros de alcantarillas, rampas de acceso a garajes existentes, interferencia con redes de servicio público existentes[2]. Se puede optar por una interdistancia de mayor longitud mediante el análisis secuencial de las siguientes alternativas:

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

Una vez que se conoce las características de la vía y las propiedades fotométricas de las luminarias, se procede a elegir la configuración que mejor se adapte a las necesidades de las vías a iluminar. La Tabla 2.7 muestra ciertas recomendaciones que se podrían tomar a la hora de escoger un tipo de configuración.

Tabla 2.7. Recomendación para disposición de luminarias. [1]

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

La disposición de las luminarias en una vía puede ser:

2.4.1 Disposición Unilateral

Las luminarias son instaladas a un solo lado de la vía, para lo cual se debe emplear las luminarias que cumplan con los requisitos fotométricos exigidos para las alturas de montaje, interdistancia y menor potencia eléctrica requerida. Las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W.[5] Se utiliza principalmente en vías secundarias, como el centro de la ciudad, áreas residenciales, etc. Figura 2.1.

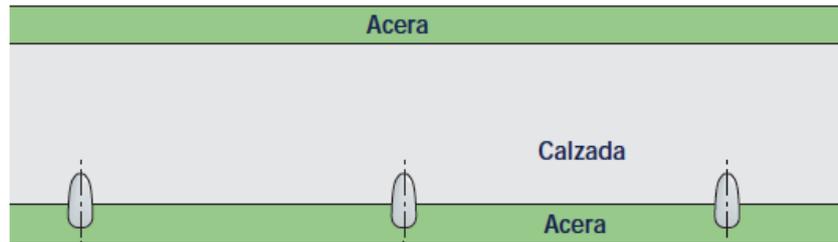


Figura 2.1. Disposición Unilateral. [1]

2.4.2 Bilateral opuesta

Es muy usada cuando el ancho de la vía es mucho más grande que la altura de montaje de la luminaria. ($A \gg H$). Se utiliza en avenidas y vías principales. Figura 2.2.

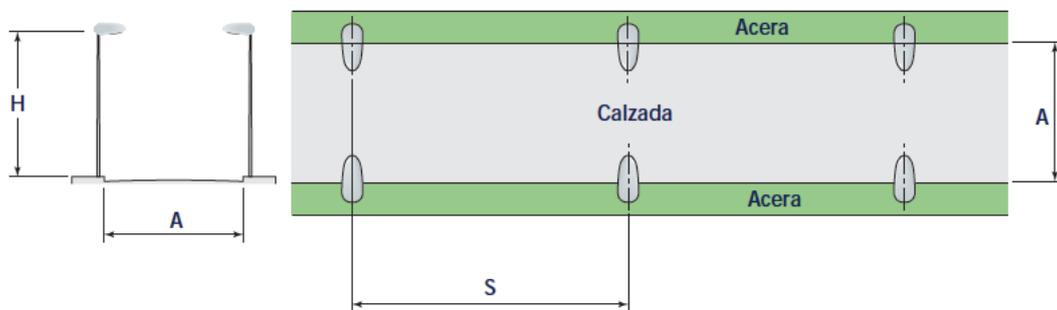


Figura 2.2. Disposición Bilateral opuesta. [1]

2.4.3 Central doble

Su uso es recomendable cuando se tiene dos vías separadas por un pequeño separador de no más de 1,5 m de ancho, se tiene un mayor ahorro económico si los postes comparten en el separador central a manera de dos disposiciones unilaterales. Se utiliza en vías con parterre central. Figura 2.3.

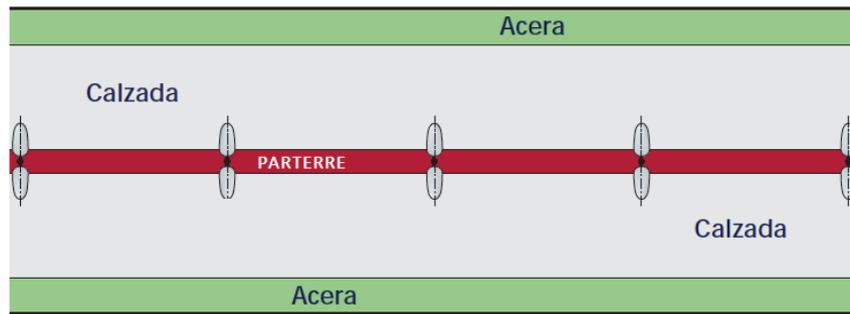


Figura 2.3. Disposición Central con separador menor a 1,5 metros.[1]

2.4.4 Central-Lateral (3 luminarias)

En esta disposición se emplea dos luminarias por poste para el parterre central y una luminaria en cada poste junto a la vía, las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W.[5] Se utiliza en avenidas con parterre central. Figura 2.4.

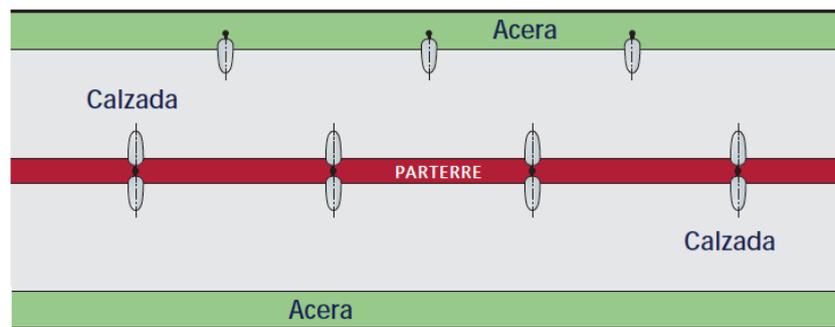


Figura 2.4. Disposición Central-Lateral (3 luminarias). [1]

2.4.5 Central-Bilateral (4Luminarias)

Empleada en avenidas con parterre central en donde se requiere de dos luminarias por poste en parterre central y una luminaria por poste en forma bilateral, las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W.[5] Figura 2.5.

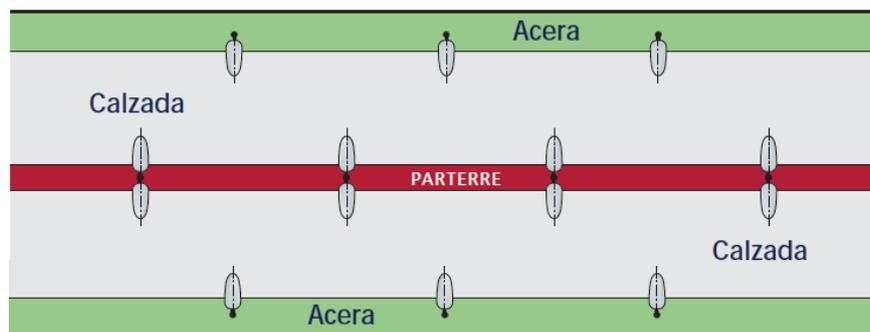


Figura 2.5. Disposición Central-Bilateral (4Luminarias). [1]

2.4.6 Tresbolillo

Los puntos de luz están situados a ambos lados de la vía a tresbolillo (zig-zag), se emplea cuando el ancho de la vía es ligeramente superior que la altura de montaje de la luminaria ($A > H$). Esta configuración se utiliza en vías principales y avenidas. Las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W. Figura 2.6.

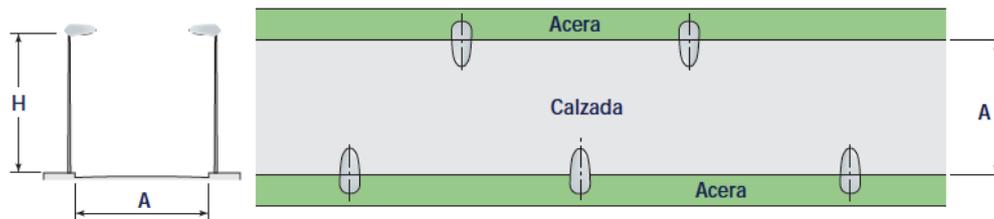


Figura 2.6. Disposición Tresbolillo. [1]

2.4.7 Tresbolillo (4 luminarias)

Vías que tienen dos luminarias en los postes de un lado de la vía y una luminaria en los postes del lado contrario. Las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W. Se utiliza en vías principales y avenidas que van junto a las riveras de los ríos para alumbrar vías peatonales. Figura 2.7.

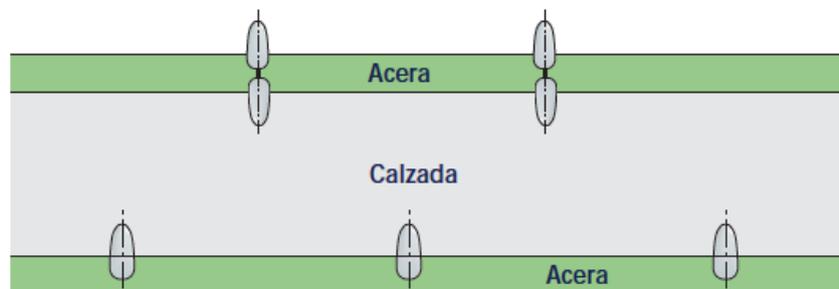


Figura 2.7. Disposición Tresbolillo (4 luminarias). [1]

2.4.8 Tresbolillo (6 luminarias)

Vías que tienen dos luminarias en los postes de un lado de la vía y dos luminarias en los postes del lado contrario, las luminarias pueden ser de 70W, 100W, 150W, 250W o 400W. Se utiliza en vías principales y avenidas que van junto a las riveras de los ríos para alumbrar vías peatonales. Figura 2.8.

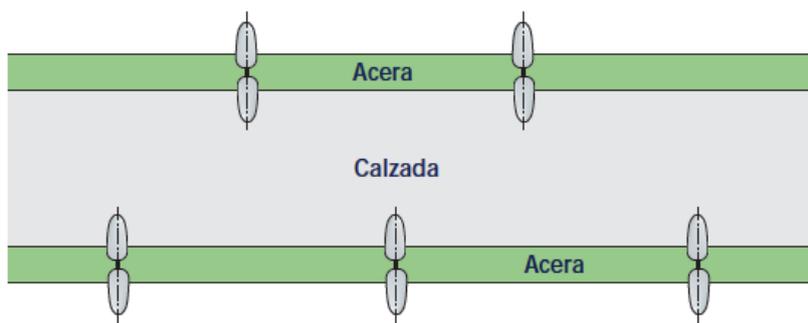


Figura 2.8. Disposición Tresbolillo (6 luminarias). [1]

2.4.9 Disposición en curvas

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

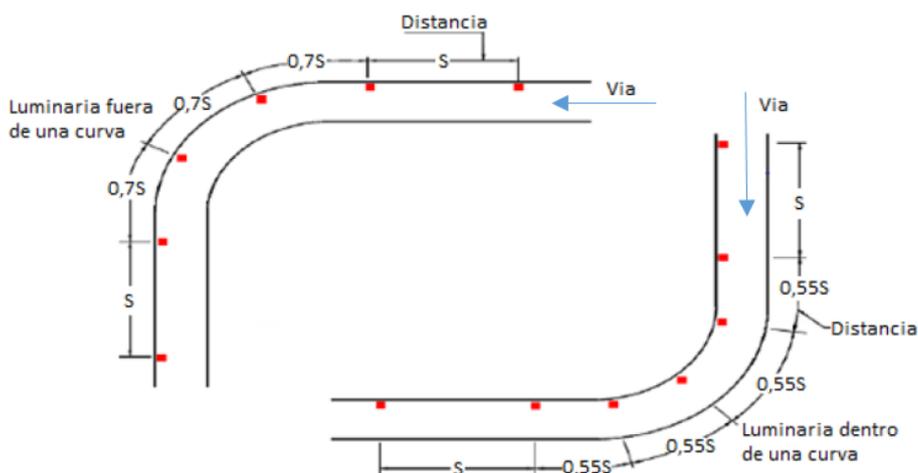


Figura 2.9. Disposición en curvas.[6]

2.4.10 En cruces

La colocación de la luminaria debe ser tal que permita al conductor percibir por contraste sobre la zona iluminada o luminosa todo obstáculo. Figura 2.10.

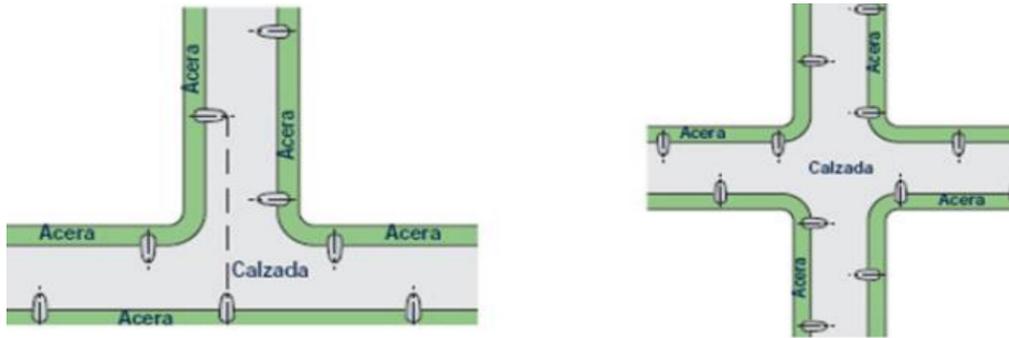


Figura 2.10. Disposición en cruces.[6]

2.4.11 Disposición en calzadas con pendiente

En este caso la luminaria debe ser orientada de tal manera que el rayo de luz sea perpendicular a la vía. El ángulo de giro formado entre el brazo y la luminaria, se denomina Spin y debe ser igual al ángulo de inclinación de la vía θ . Esto asegura máxima uniformidad en la distribución de la luz y reduce el deslumbramiento de una manera eficaz.

Al igual que en los trayectos curvos, los primeros 100 o 200 m (dependiendo de la velocidad de circulación) al entrar a una sección de la calzada en pendiente, el diseñador debe reducir la interdistancia a $0,90S$. En la cima, unos 100 o 200 m antes y después, dependiendo de la velocidad de circulación, la interdistancia se reduce paulatinamente hasta llegar a $0,70 S$. Los postes, en estos trayectos en pendiente, deberán permanecer verticales e independientes de la inclinación de la calzada. Figura 2.11.

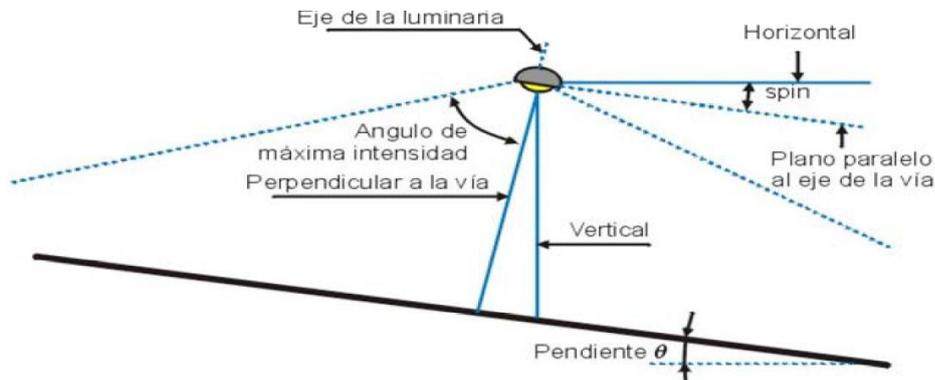


Figura 2.11. Disposición en calzadas con pendiente.[6]

2.5 CRITERIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO [1]

La eficiencia energética es un “Conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos, manteniendo la misma calidad o mejorándola.” Es decir,



utilizar menos energía para obtener un mismo o mejor producto, bien o servicio.
[7]

La eficiencia en el alumbrado público se consigue manteniendo o mejorando los niveles lumínicos existentes, acompañado de un menor consumo energético, esto se logra con la instalación de equipos eficientes y una operación correcta del sistema de alumbrado público.

Un sistema de alumbrado público no puede considerarse que esté funcionando bien solo por el hecho de estar encendido, sino que además lo tiene que hacer en forma eficiente. Es decir, debe encenderse para iluminar solo las áreas que se tienen que iluminar dentro de los niveles de iluminación establecidos y consumir la menor cantidad de energía.

2.5.1 Criterios de eficiencia energética en el diseño del alumbrado público

Los criterios de eficiencia energética que se deberán tener presentes en el diseño del alumbrado público se enumeran a continuación:

1. El nivel de iluminación será el adecuado para la actividad que se realice, ajustándose a los valores indicados en normas internacionales, pudiéndose tomar como referencia los valores estipulados en la Norma Técnica Colombiana 900(NTC-900). Por lo general se podrá superar los niveles luminosos hasta un 20%, salvo casos especiales en los que sería posible rebasar dicho porcentaje.
2. Se debe escoger la lámpara de mayor eficiencia luminosa (lm/W) de entre todas las lámparas que cumplan con los parámetros del proyecto.
3. El equipo auxiliar debe ser el indicado para suministrar a la lámpara las características eléctricas adecuadas para su correcto funcionamiento, con la emisión de un flujo luminoso elevado y consumo energético bajo (bajas pérdidas).
4. Se instalarán las luminarias que resulten adecuadas para el tipo de fuente de luz a utilizar y que tengan el mayor rendimiento, factor de utilización y factor de depreciación o mantenimiento de aquellas que cumplan los parámetros del proyecto.
5. En alumbrado de vías y calles peatonales deberán implantarse luminarias con la mínima emisión de luz por encima del plano horizontal, utilizándose reflectores que dirijan el flujo luminoso al área que se pretende iluminar, reduciendo así la contaminación luminosa.
6. En el caso de las lámparas de sodio de alta presión, un incremento del 10% en el valor de la tensión de la red, ocasionará un aumento en la potencia entre el 20% y 25%, lo cual es perjudicial para la vida de la bombilla, la misma que puede reducirse en más de un 50%, esto se debe a la limitada capacidad de regulación de tensión de este tipo de lámparas.



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Para disminuir el problema puede optarse:

- Por balastos serie de tipo inductivo con dos tomas de corriente y conexión a la toma más próxima a la tensión de la red.
 - Utilizar balastos autorregulados.
 - Colocar balastos electrónicos.
 - Instalar estabilizadores de tensión de cabecera de línea.
7. Podrá preverse una reducción del nivel luminoso, apegándose siempre a los criterios establecidos internacionalmente.
 8. El accionamiento del sistema de alumbrado será automático, con la posibilidad de ser manual. El programa será el encendido total, apagado parcial del 50 % de los puntos de luz a determinadas horas de la noche y el apagado total.
 9. Los sistemas de encendido y apagado deberán evitar la prolongación innecesaria de los períodos de funcionamiento de las instalaciones.
 10. Se limitarán las pérdidas propias de la instalación, principalmente las debidas al efecto Joule en líneas de alimentación y los consumos por sobretensión de suministro.
 11. Los dispositivos de control de potencia y medición de energía deberán ser los adecuados para las características de la instalación.
 12. Desde el instante inicial, se planificarán y programarán la conservación y mantenimiento de las instalaciones.

2.5.2 Criterios de eficiencia energética en la utilización

Los criterios de eficiencia energética en la utilización del alumbrado público se enumeran a continuación:

1. Se controlará el consumo de energía (término potencial, término energía, discriminación horaria, energía reactiva, etc.), aplicando las medidas necesarias.
2. Para efectuar la gestión de las instalaciones será necesario disponer del inventario de estas, que deberá contener al menos:
 - Tipo de luminaria
 - Lámparas: tipos, potencias y tipos de equipo auxiliar
 - Línea de alimentación eléctrica



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



- Dispositivo de maniobra
 - Tablero de distribución
3. Se determinará el ciclo o ciclos de funcionamiento de la instalación con el fin de mejorar y prever el consumo, así como mejorar la contratación del suministro de la energía eléctrica, aplicando tarifas diferenciales en las horas de la madrugada.
 4. En el ciclo de funcionamiento se fijará cuántas y cuáles son las horas en las que esté operando la instalación.
 5. El sistema de control de los ciclos de funcionamiento será función del potencial de ahorro energético y éste, a su vez, depende de la magnitud, complejidad y flexibilidad de la instalación. Toda instalación tenderá hacia un control continuo y exacto de los ciclos de funcionamiento mediante sistemas electrónicos e informáticos.
 6. Los horarios de funcionamiento de las instalaciones deberán adaptarse a las necesidades de iluminación.
 7. Las instalaciones que carezcan de mantenimiento y que no estén gestionadas, pero se estime que deban ser sometidas a mantenimiento, pasarán a una auditoría energética en la cual se analiza la situación de la instalación y se realiza un diagnóstico de la problemática energética.
 8. También se deberá realizar una auditoría energética en aquellas instalaciones que presenten problemas de funcionamiento o de eficiencia energética.

2.5.3 Criterios de eficiencia energética en el mantenimiento

El mantenimiento se justifica por los condicionantes generales de degradación de la instalación por el paso del tiempo. En el caso de un alumbrado hay que considerar los efectos de:

- Depreciación y mortalidad de las fuentes de luz.
- Depreciación por suciedad de las luminarias.

La Figura 2.12 indica 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. Se observa la importancia del mantenimiento preventivo en lo relativo a la energía recuperada por el efecto de la limpieza y del cambio de bombilla.

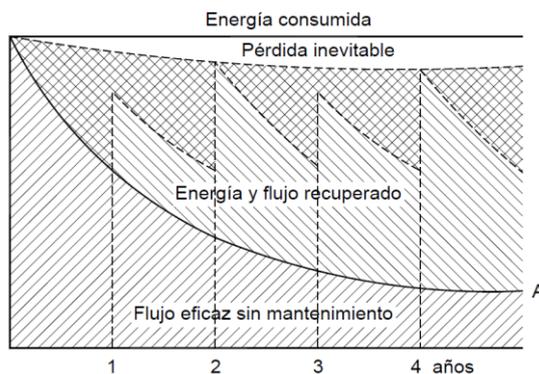


Figura 2.12. Curva de depreciación del sistema óptico-cierre de las luminarias[1].

La curva A representa la energía útil de la instalación de alumbrado, pudiéndose observar la gran cantidad de energía desperdiciada debido a un deficiente mantenimiento.

Las elevadas inversiones que requieren los mantenimientos y un buen uso de los recursos, hace necesario considerar la gestión y realización del mantenimiento de las instalaciones de alumbrado en general por:

1. Su incidencia en el consumo energético

Si la luminaria está sucia o la fuente de luz es inadecuada, se estará pagando un consumo eléctrico mayor.

2. Necesidad de que las instalaciones funcionen durante el mayor tiempo posible al máximo de sus capacidades

De otra manera no se estará obteniendo la rentabilidad prevista de las instalaciones.

3. Posibilidad de amortización de la inversión en periodos de tiempos asequibles

Se hace necesaria una gestión del mantenimiento para todos los alumbrados, por razones de seguridad y confort. Pero es necesario conservarlos adecuadamente para asegurar los máximos periodos de amortización.

4. Punto óptimo

Los planes de mantenimiento pueden ser cuantitativos o cualitativos; por esto se define el punto óptimo de mantenimiento como aquel en el que “el valor del incremento de las prestaciones obtenidas es igual al incremento del costo necesario para su obtención”.



Gestión de mantenimiento

Es importante disponer de un sistema de detección y reparación de averías del sistema. Para facilitar la detección de averías se centralizará la información en un ente o persona que coordine los datos recibidos y se responsabilice de la reparación de la avería.

2.6 USO RACIONAL DE ENERGÍA EN ALUMBRADO PÚBLICO[2]

La creciente demanda del alumbrado público y el costo de la energía eléctrica, requiere de sistemas que cuenten con un uso racional y eficiente de energía, surgiendo el concepto de densidad de potencia eléctrica, el cual considera el uso de fuentes de alta eficacia lumínica y luminarias de mayor eficiencia.

2.6.1 Máxima densidad de potencia eléctrica para sistemas de alumbrado público

Con el propósito de que las vías tengan niveles de iluminación adecuados, es decir, que no estén subiluminadas o sobreiluminadas se precisan unos límites. Para que los niveles de iluminación sean los ideales todo diseño debe cumplir con los parámetros mínimos de luminancia e iluminancia; además se exige que el nivel de densidad de potencia eléctrica este dentro del máximo permitido.[8]

Las 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) establecidos en la Tabla 2.8; estos valores están definidos en base a la iluminancia promedio mantenida y el área total a iluminar (calzadas, senderos peatonales). La DPEA no debe ser mayor al permitido en el diseño ni durante la operación.

El cálculo de la DPEA se realiza a partir de la carga total conectada para alumbrado y del área total objeto de alumbrado. Esta relación se observa en la ecuación 5.

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total Iluminada}} \quad (5)[2]$$

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

Tabla 2.8. Valores máximos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) para vías vehiculares (W/m²).[2].

Nivel mantenido de iluminancia promedio	DENSIDAD DE POTENCIA (W/m ²) según ancho de la calzada (m)				
	Ancho de calzada (m)				
lux (lx)	< 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
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

Nota: Los valores de iluminancia para aplicar la tabla en el caso de diseños con base en criterio de luminancia de la calzada, serán los calculados por el diseñador, asociados al diseño.

Las vías con velocidades superiores a los 60 Km/h y diseñadas con el criterio de luminancia presentarán un cálculo diferente, la DPEA es sustituida 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.[2] Ecuación 6.

$$EER = \frac{P}{L \times S} \left[\frac{W}{\frac{cd}{m^2} \cdot m^2} \right] \quad (6)[2]$$



En donde:

P: potencia en W

L: luminancia mantenida cd/m^2

S: área en m^2

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

2.7 REGULACIÓN 005/14 CONELEC (PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL)[3]

El alumbrado público es un servicio de importancia para la colectividad que permite la movilidad de las personas, vehículos y provee seguridad a los ciudadanos, motivo por el cual es necesario normar los aspectos técnicos, económicos y financieros para la prestación del servicio a fin de garantizar la calidad del mismo.

Mediante la aprobación de la LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, del viernes 16 de enero de 2015, se crea la AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD – ARCONEL en reemplazo al Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC, que es el organismo técnico administrativo encargado de regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses del consumidor o usuario final. [9]

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad es una institución de derecho público, con personalidad jurídica, autonomía administrativa, técnica, económica y patrimonio propio; está adscrita al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.[9]

La misión del ARCONEL es “Regular y controlar los servicios públicos de suministro de energía eléctrica y de alumbrado público general, en beneficio de la ciudadanía ecuatoriana, promoviendo su prestación con alta calidad, precios justos y responsabilidad socio – ambiental.” [9]

La Regulación CONELEC 005/14 “Prestación del Servicio de Alumbrado Público General” sustituye a la Regulación No. CONELEC 08/11 y se encuentra vigente desde el 18 de septiembre del 2014. La regulación CONELEC 005/14 norma las condiciones técnicas, económicas y financieras que permitan a las distribuidoras de energía eléctrica prestar el servicio de alumbrado público general con calidad, eficiencia y precio justo.

2.7.1 Obligaciones de las empresas distribuidoras

Las Distribuidoras son responsables de la prestación del servicio de alumbrado, y por ende están obligadas a:



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



- Elaborar y coordinar con los municipios, el plan de expansión del alumbrado público general para cubrir la demanda de este servicio, de acuerdo a lo establecido en la presente Regulación.
- Cubrir la demanda del servicio de conformidad con los planes de expansión del sistema de alumbrado público.
- Operar, mantener y reponer el sistema de alumbrado público general.
- Cumplir con los índices de calidad y continuidad para la prestación del servicio de alumbrado público general, que se establecen en la presente regulación.
- Reportar los índices de calidad y continuidad del servicio de alumbrado público general de acuerdo a los formatos y plazos que el ARCONEL establezca.
- En un sistema informático conservar actualizados los inventarios de activos del alumbrado público general, que permita su seguimiento y verificación por parte de las autoridades de control.
- Las acciones de expansión y mejoras del alumbrado público general que se efectúen, reportarlas conforme a lo que establezca el ARCONEL.
- Instalar equipos que cumplan con criterios de eficiencia energética y las normas de preservación del medio ambiente.

2.7.2 Disposiciones generales

Primera: La energía eléctrica consumida por las luminarias de áreas públicas deportivas abiertas se sumará a la energía consumida de alumbrado público general. Estas luminarias en cuanto a la operación y mantenimiento estarán bajo la responsabilidad de las distribuidoras o del respectivo municipio, así como su remplazo, rediseño o ampliación.

Segunda: En el cálculo de la energía del alumbrado público, el factor de utilización será de 0.5, menor o igual 1 para túneles y pasos deprimidos y menor a 1 para semaforización. El ARCONEL aprobará valores diferentes si las distribuidoras presentan los estudios que justifiquen dichos valores, también en caso de ser necesario, podrá contratar consultorías especializadas para el ajuste de estos parámetros para las distintas empresas Distribuidoras.

Tercera: Si un gobierno autónomo descentralizado diferente a un municipio es responsable del espacio público, será este quien asuma las competencias y obligaciones establecidas para los municipios en la presente Regulación.

Cuarta: El ARCONEL aprobará estudios técnicos que justifiquen los niveles de consumo de los sistemas auxiliares para el funcionamiento de alumbrado



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



público de las distribuidoras, en caso de que no existan los estudios, se deberá utilizar para el cálculo de energía, los valores de autoconsumos establecidos en la presente Regulación.

Quinta: Se observará lo establecido en la Regulación No. CONELEC 005/09 “Procedimiento para el seguimiento y evaluación de los planes de inversión de las entidades de distribución de energía eléctrica” para el seguimiento y evaluación de los planes de inversión de alumbrado público.



CAPÍTULO 3

SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ECUADOR Y EN LA CIUDAD DE CUENCA

Introducción

Los sistemas de alumbrado público constituyen una parte esencial dentro de la seguridad de una ciudad o país mejorando considerablemente la calidad de vida de sus ciudadanos, es por ello que resulta necesario conocer en todo momento el estado en el que se encuentra este servicio y así medir objetivamente su evolución.

En el presente capítulo se describe la situación actual del alumbrado público en el Ecuador y la ciudad de Cuenca, mediante el uso de indicadores estadísticos, los mismos que han sido extraídos del informe anual de estadística energética elaborado por el ARCONEL en el año 2015 y la información proporcionada por la CENTROSUR hasta el 31 de julio de 2016. También se realiza una breve reseña histórica del alumbrado público en la ciudad de Cuenca, describiendo los momentos de mayor trascendencia en la evolución de este sistema.

3.1 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ECUADOR

El sistema de alumbrado público en el Ecuador constituye uno de los servicios fundamentales, en cuanto a movilidad, ornamentación y seguridad se refiere, además representa uno de los rubros de mayor demanda energética, según datos obtenidos de la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2015, elaborado por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), la demanda energética del alumbrado público es del 6% (1081 GWh) del total de energía de los diferentes sectores de consumo (residencial, comercial, industrial y otros). Esta información se observa en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Demanda de energía eléctrica por grupo de consumo (GWh).[10]

Año	Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado Público	Otros	Total (GWh)
2010	37%	19%	30%	6%	8%	13.769,73
2011	36%	20%	30%	6%	8%	14.931,12
2012	36%	20%	30%	6%	9%	15.847,99
2013	35%	21%	28%	6%	10%	16.742,94
2014	35%	21%	28%	6%	10%	17.958,30
2015	36%	21%	26%	6%	11%	18.926,51

En la Figura 3.1 se observa la distribución porcentual de la energía consumida en los diferentes sectores de consumo del Ecuador para el año 2015.

Consumo Energético en el Ecuador 2015

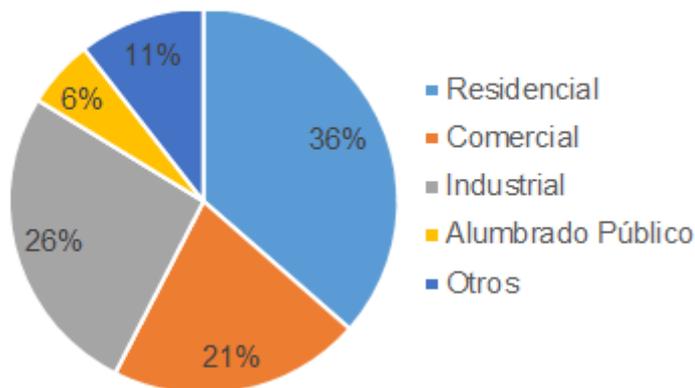


Figura 3.1 Consumo energético por sectores en el Ecuador 2015.[10]

3.1.1 Facturación (MUSD) de energía (GWh)[10]

La facturación de la energía eléctrica en millones de dólares (MUSD), por grupo de consumo se presenta en la Tabla 3.2. En el 2015 se facturó un total de 1.797,70 MUSD, de lo cual el 8% (138,19 MUSD) corresponde al servicio de alumbrado público. [10]

Tabla 3.2. Facturación de energía eléctrica por grupo de consumo (MUSD). [10]

Año	Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado Público	Otros	Total (MUSD)
2010	43%	19%	25%	7%	6%	1.091,66
2011	42%	19%	24%	8%	7%	1.189,61
2012	42%	20%	23%	8%	7%	1.283,32
2013	41%	20%	22%	9%	8%	1.356,73
2014	39%	21%	24%	8%	8%	1.611,82
2015	40%	21%	23%	8%	8%	1.797,70

La facturación de la energía por grupo de consumo en el Ecuador para el año 2015 se observa en la Figura 3.2.

Facturación de Energía en el Ecuador 2015

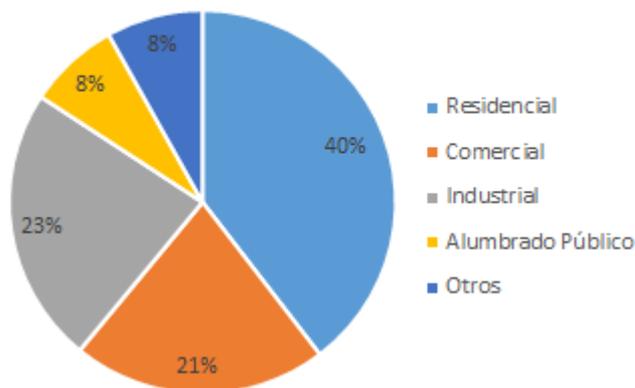


Figura 3.2. Facturación de energía eléctrica por grupo de consumo (MUSD). [10]

3.1.2 Relación [CR/Li] del Ecuador [10]

La relación clientes residenciales sobre luminarias instaladas [CR/Li], es otro de los indicadores que debe ser considerado dentro de un sistema de alumbrado público. En la Tabla 3.3 se observa esta relación para los últimos 10 años, notándose que el número de clientes residenciales por luminaria ha disminuido de forma sostenida a partir del año 2012. En la Figura 3.3 se observa la evolución del indicador CR/Li durante el periodo de tiempo 2006-2015.

Tabla 3.3. Relación [CR/Li]: clientes residenciales por luminarias instaladas.[10]

Año	Cientes residenciales (#)	luminarias instaladas	CR/Li
2006	2.826.369	818.613	3,45
2007	2.948.585	844.423	3,49
2008	3.110.473	886.654	3,51
2009	3.288.798	944.260	3,48
2010	3.470.331	993.682	3,49
2011	3.675.992	1.042.876	3,52
2012	3.853.176	1.110.147	3,47
2013	4.010.640	1.204.002	3,33
2014	4.117.661	1.249.674	3,29
2015	4.224.115	1.297.645	3,26



Figura 3.3. Evolución [CR/Li]: clientes residenciales por luminarias instaladas.[10]

3.1.3 Relación [WAP/CR] del Ecuador [10]

Otro indicador muy importante dentro del alumbrado público es la relación entre la potencia instalada en los sistemas de alumbrado público y el número de clientes residenciales [WAP/CR], que para el año 2015 este valor corresponde a 48,69W de iluminación por cada cliente residencial, siendo el valor más alto en los últimos 7 años. En la Tabla 3.4 se observa el valor de la relación WAP/CR para el periodo 2006-2015, y en la Figura 3.4 su representación gráfica.

Tabla 3.4. Relación [WAP/CR]: potencia alumbrado público clientes residenciales.[10]

Año	Potencia alumbrado público (W)	Cientes residenciales (#)	WAP/CR
2006	143.522.842	2.826.369	50,78
2007	147.102.169	2.948.585	49,89
2008	154.130.579	3.110.473	49,55
2009	154.936.803	3.288.798	47,11
2010	163.584.494	3.470.331	47,14
2011	168.633.032	3.675.992	45,87
2012	176.051.442	3.853.176	45,69
2013	189.518.000	4.010.640	47,25
2014	197.896.920	4.117.661	48,06
2015	205.666.560	4.224.115	48,69

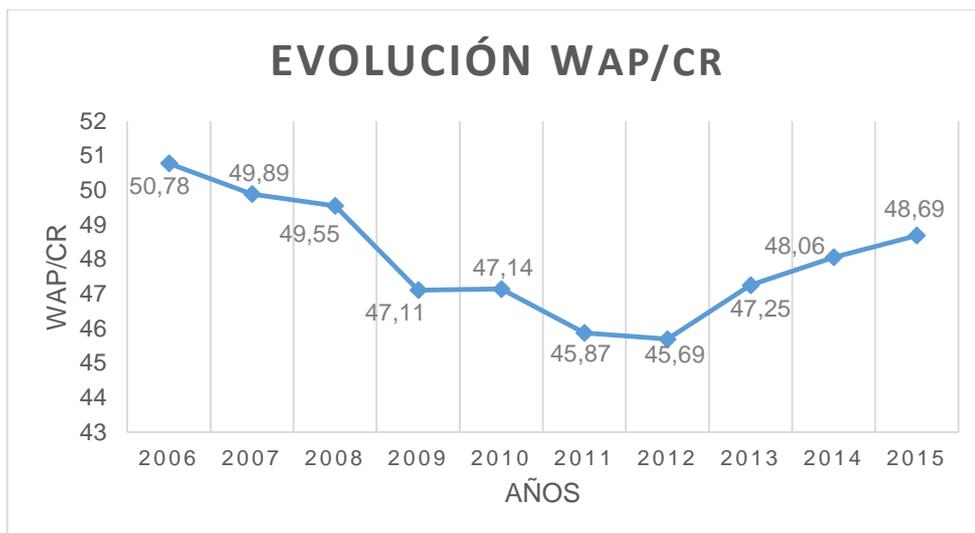


Figura 3.4. Evolución [WAP/CR]: potencia alumbrado público clientes residenciales.[10]

3.1.4 Tipos de luminarias utilizadas[11]

En el Ecuador en su mayoría se emplean lámparas de sodio de alta presión para alumbrado público debido a su buen rendimiento luminoso y larga vida útil. En la Tabla 3.5 se muestra las características de las lámparas que se instalan comúnmente en el alumbrado público. La selección de una de ellas, obedece al criterio de eficiencia energética, el mismo que conjuga la eficacia de la lámpara y equipos auxiliares con una gestión de la operación y mantenimiento que garanticen la seguridad de peatones, conductores y propiedad.

Tabla 3.5. Características principales de las lámparas usadas en el Ecuador para alumbrado público.[11]

Tipo de lámpara	Temperatura de color (K)	Rendimiento luminoso (lm/W)	Promedio de vida útil (horas)
Mercurio Alta presión	4.800-6.500	40-60	24.000
Metal Halide	3.600	75-95	12.000
Luz mixta	1.800	20-30	12.000
Sodio Alta presión	2.800-3.000	70-130	24.000
LED: Luz cálida Luz blanca fría	5.500-6.500	80-85	50.000

3.2 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA

El cantón Cuenca se encuentra situado al sur del Ecuador en la provincia del Azuay, políticamente se divide en 21 parroquias rurales y 15 parroquias urbanas, de las cuales el área ocupada por la ciudad de Cuenca corresponde a menos del 3% de la totalidad de la superficie cantonal, sin embargo, alberga a



casi el 65% de la población (556.776 habitantes)[12]. De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial de Cuenca la red vial de la zona urbana cuenta con 1.150 km[12], repartidos en avenidas, calles, pasos peatonales y puentes.

La ciudad de Cuenca es servida de alumbrado público en su totalidad por la CENTROSUR, empresa que hasta julio de 2016 había instalado 35.951 luminarias en la zona urbana de la ciudad[13], esta cifra abarca tanto al alumbrado público vial-peatonal y al alumbrado ornamental. Las luminarias instaladas son de diferente tipo y en su mayoría son de sodio de alta presión; sin embargo, existen luminarias de otras tecnologías tales como luminarias de mercurio de alta presión, luminarias de luz mixta, LED y proyectores de sodio y mercurio.

3.2.1 Reseña histórica y evolución del alumbrado público en la ciudad de Cuenca

3.2.1.1 Reseña histórica del alumbrado

El hombre desde sus inicios siempre tuvo la necesidad de contar con un sistema que le permitiese tener luz artificial en las largas y oscuras noches que lo aquejaban, la primera forma de iluminación artificial que se conoce son las antorchas, las cuales aparecieron en el instante en que los humanos fueron capaces de controlar el fuego; sin embargo este sistema era engorroso y de poca duración. Las antorchas prevalecieron por un largo tiempo, hasta la aparición de las primeras lámparas, las mismas que utilizaban aceite como combustible, siendo este sistema más eficiente que el anterior, “se han encontrado lámparas de aceite en las planicies de Mesopotamia con unas fechas que datan de 7000 a 8000 a.C., en Egipto y Persia esta forma de iluminación apareció hace aproximadamente 2700 a.C.” [14]

Posteriormente, alrededor del año 400 d.C. los fenicios comenzaron a emplear las conocidas velas de cera [14], las mismas que han prevalecido hasta nuestros días como fuentes de luz, aunque su uso es muy reducido. Varios años después, “alrededor de 1798 se comienza a utilizar el gas como combustible en las lámparas para alumbrado y a partir de mediados del siglo XIX se le da el mismo uso al petróleo”[14], estos sistemas de iluminación fueron desplazados a un segundo plano, luego de la aparición de la lámpara de filamento incandescente desarrollada por el inventor norteamericano Thomas Alva Edison, “quien tomó los aportes Frederick de Moleyns en 1841 y la mejoró mediante la implementación de un filamento carbonizado, aumentando la vida útil de la misma; su primera luminaria incandescente fue terminada y patentada el 21 de diciembre de 1879”. [15]

A partir de la invención de la lámpara incandescente los sistemas de iluminación se desarrollaron de una forma más rápida, en la actualidad se



emplean lámparas de descarga, aunque la tecnología LED de a poco va ganando terreno debido a su efectividad y bajo consumo energético.

En lo referente a las primeras ordenanzas sobre el alumbrado público, éstas se remontan al siglo XVI, en Francia[14], en donde se obligaban a los habitantes a colgar una fuente de luz en la puerta de sus casas, estas acciones fueron emuladas por otros países, estableciéndose los primeros sistemas de alumbrado público regidos a una ordenanza.

3.2.1.2 Reseña histórica del alumbrado en Cuenca

En la ciudad de Cuenca en la época de la colonia ya había indicios del alumbrado público pero este sistema era muy esporádico y rudimentario, debido a que se basaba en el uso de velas, candelabros y faroles. Además se requería de una ordenanza que regule su buen funcionamiento, es así que “el 14 de octubre de 1893 el Consejo Municipal de la ciudad”[16], emitió la primera ordenanza relacionada al alumbrado público, en la que se estipulaba el uso de candiles de petróleo en farolas, las cuales serían instaladas en las paredes de las viviendas de la urbe y su administración estaba a cargo de los dueños de las viviendas.

El uso de farolas como sistema de iluminación prevaleció hasta la noche del 19 de agosto de 1914, fecha en la que se produjo el encendido de un enorme foco de 500 bujías (candelas) en la esquina de las calles Juan Jaramillo (hoy Borrero) y Gran Colombia, [17] en este lugar se encontraba la residencia del empresario Roberto Crespo Toral, artífice principal de la electrificación en Cuenca.

En el año de 1916 se conforma el Departamento Municipal de Luz, esta iniciativa estuvo a cargo del Presidente del Concejo Municipal, Dr. Octavio Cordero Palacios y del señor Gobernador, Dr. Abelardo J. Andrade,[18] posterior a la creación de esta entidad, llegaron a la planta eléctrica (ubicada en el sector de Yanuncay) los equipos Francis y generadores General Electric, los cuales permitieron la generación de energía eléctrica hasta 1989, año en que dejó de funcionar la planta.

Al proyecto eléctrico establecido en 1916, se le suma en 1921 la planta eléctrica ubicada en el sector de Monay[18], misma que fue fundada por Roberto Crespo Toral y utilizaba una turbina Morgan de procedencia estadounidense, de esta forma, Cuenca se convirtió en la ciudad mejor iluminada y dotada de energía eléctrica en el Ecuador.

El sistema de alumbrado en la ciudad continuó su desarrollo y expansión en la misma medida en que los proyectos eléctricos se iban implementando en la urbe. “El 18 de febrero de 1950, se constituyó la Compañía Anónima y Mercantil Empresa Eléctrica Miraflores S.A”[18] la cual tenía la responsabilidad



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



de satisfacer las necesidades de energía e iluminación a las provincias del Azuay y Cañar.

Hasta el año de 1963 la Empresa Eléctrica Miraflores S.A, estaba conformada por dos accionistas, el primero de ellos era el Municipio de Cuenca y el segundo la Corporación de Fomento. En septiembre del mismo año, el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) ingreso como nuevo accionista y se procedió a sustituir la denominación de Empresa Eléctrica Miraflores S.A por Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. (CENTROSUR).[18]

La CENTROSUR ha ido creciendo paulatinamente y con ella cada uno de los servicios que presta, es así que “en el año de 1990 se dio un importante paso, al reemplazarse las luminarias de mercurio de alta presión instaladas en la ciudad por luminarias de sodio de alta presión, sustituyéndose aproximadamente 120 luminarias alrededor del centro de la ciudad.” [16]

En el período de 1992-1995, se sustituyeron todas las luminarias de mercurio en el centro histórico de la ciudad por luminarias de sodio de alta presión, y se mejoró el servicio de iluminación en este sector utilizando 1.200 luminarias en un área que abarcaba 120 manzanas, y a partir de esta fecha únicamente se adquieren luminarias de sodio de alta presión para la iluminación de vías. [16]

En lo referente al alumbrado ornamental en la ciudad de Cuenca para el periodo 1992-1995, se conoce de la implementación de la iluminación ornamental en La Catedral de la Inmaculada Concepción (Catedral Nueva), La Catedral Antigua, las iglesias de San Alfonso, Santo Domingo, San Blas, Del Buen Pastor, Todos Santos, San Francisco, Santo Cenáculo, San Sebastián, Corazón de Jesús, Cristo Rey, De Las Marianitas, El Carmen, Las Conceptas, Santa Teresita, San Roque, El Vergel, Virgen de Bronce y María Auxiliadora. Además se iluminaron los monumentos ubicados en el parterre central de la Av. Padre Vicente Solano, y los ubicados en el Parque Calderón, San Blas, Luis Cordero, San Sebastián y las fachadas de edificios emblemáticos como del actual Palacio Municipal, Corte Superior de Justicia, Curia Diocesana, Casa de la familia Malo, ubicada en la calle Luis Cordero y Larga. Para la iluminación se utilizaron proyectores de mercurio y de sodio en varias potencias. [16]

En el año 2002, se conformó la fundación “Iluminar Luz y Color para Cuenca”, esta entidad está encargada de dotar anualmente a la ciudad de iluminación ornamental para la época de Navidad y Año Nuevo, para lo cual emplea proyectores de luz de color, y adornos navideños con luces incandescentes de colores. Así también “reemplazó los sistemas de iluminación ornamental que fueron construidos en los años 1992-1995, de las iglesias de Santo Domingo, La Catedral Antigua, El Carmen, Santo Cenáculo, San Blas, San Sebastián, La espadaña y la fachada del Palacio Municipal”. [16]



Es importante recalcar que a partir del decreto 008/11 emitido por Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, (en la actualidad ARCONEL), los sistemas de alumbrado público ornamental e intervenido pasan a ser jurisdicción de los municipios, quedando únicamente el alumbrado público general bajo la responsabilidad de las empresas distribuidoras. [19]

3.2.2 Crecimiento del sistema de alumbrado público en la ciudad de Cuenca

La ciudad de Cuenca, al mes de julio de 2016 contaba con 35.553 luminarias, este monto no considera las luminarias ornamentales, debido a que estas no son jurisdicción de la CENTROSUR. En el Anexo 2 se encuentra la información relacionada a las luminarias utilizadas en el sistema de alumbrado público.

3.2.3 Relación [CR/Li] en la ciudad de Cuenca[20]

La relación [CR/Li] también se establece a nivel de ciudad, en el mes de julio del año 2016, en el sistema de CENTROSUR había una luminaria instalada por cada 2,30 clientes residenciales.

Tabla 3.6. Relación [CR/Li] en la ciudad de Cuenca. [20]

Año 2016	Cientes residenciales (#)	Luminarias instaladas (#)	CR/Li
Julio	81.888	35.553	2,30

3.2.4 Relación [WAP/CR] en la ciudad de Cuenca [20]

En el mes de julio de 2016, se registró en la CENTROSUR que la potencia por cada cliente residencial en la ciudad fue de 87,21 vatios.

Tabla 3.7. Relación [WAP/CR] en la ciudad de Cuenca. [20]

Año 2016	Potencia alumbrado público (W)	Cientes residenciales (#)	WAP/CR
Julio	7.142.140,6	81.888	87,21

3.2.5 Sectorización del alumbrado[16]

La CENTROSUR es una empresa que constantemente realiza mejoras en sus servicios para que estos sean de óptima calidad y que estén acorde a las necesidades de sus clientes, es por ello que en “el año 2002 se planteó a través del Departamento de Supervisión y Control, el Programa de Mantenimiento Preventivo de Alumbrado Público, en el cual se divide geográficamente el área urbana de Cuenca en 23 zonas geográficas”[16], esta iniciativa tenía dos propósitos fundamentales:



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



- El primero consiste en establecer proyectos pequeños para mejorar los sistemas por zonas, de tal manera que las inversiones de las mismas sean acordes a los presupuestos de la CENTROSUR y establecer las fechas de construcción de cada obra, y con esta información llevar el control de la vida útil de los elementos que conforman los sistemas de alumbrado y poder programar el mantenimiento preventivo. [16]
- El segundo propósito tenía por objeto brindar las facilidades para que un supervisor pueda revisar toda una zona en el transcurso de 3 o 4 horas, para luego poder reportar a los grupos de mantenimiento y que los mismos realicen el mantenimiento correctivo de manera programada en cada zona optimizando de esta manera los recursos.

En la práctica, por aspectos presupuestarios no ha sido posible financiar de manera completa las obras en cada zona, por lo que se han definido subzonas, esto ha llevado a que de una misma zona se tenga diferentes registros.

En la actualidad, por asuntos de recursos económicos y geográficos, se ha dividido a la ciudad en 26 zonas y 14 subzonas (Anexo 1).

3.2.6 Sistema de distribución eléctrica para el alumbrado

Un sistema de distribución es una parte del sistema eléctrico de potencia que está comprendida entre las barras de alta tensión de una subestación hasta los puntos de suministro de energía [10], está compuesta por un conjunto de elementos como conductores, aisladores, postes, estructuras de soporte, canalizaciones y equipos de protección que garanticen el suministro en forma segura y confiable.

El sistema de distribución de alumbrado considera el equipamiento de las luminarias para proveer de iluminación a las vías públicas, plazas y espacios de uso público, además de controlar las luminarias del sistema.

Los sistemas de distribución eléctrica empleados en el alumbrado público de la ciudad se los clasifica en sistemas comunes a las redes de distribución eléctrica y sistemas expresos para el servicio de alumbrado público.[16]

Los sistemas comunes a las redes del sistema de distribución eléctrica se utilizan para suministrar energía a los clientes de la CENTROSUR y también para suministrar energía a las luminarias de los sistemas de iluminación, es por ello que el sistema de iluminación no es independiente. Estos sistemas utilizan conductores de aluminio desnudo en calibres de 6, 4, 2 y 1/0 AWG y conforman sistemas aéreos. Además, este sistema nos permite reducirlos costos en la construcción de los sistemas de iluminación; por lo que un 80% de las luminarias en el cantón Cuenca son servidas de esta manera.[16]

Los sistemas expresos para el servicio de alumbrado son construidos exclusivamente para este propósito, obteniendo así un sistema independiente al que se puede realizar un mejor control. A este sistema le corresponde el 20% del total de las luminarias de la ciudad, tal como se observa en la Figura 3.5. En estos sistemas, para las redes aéreas se utiliza generalmente cable dúplex 2x4, 2x6 AWG aislado de aluminio y cables 2x6 AWG de cobre en las redes subterráneas. El sistema expreso básicamente es utilizado para alumbrado ornamental de parques, plazas, iglesias, monumentos y todo tipo de espacios, que obedecen a criterios estéticos determinados por los municipios o por el órgano estatal competente.[16]

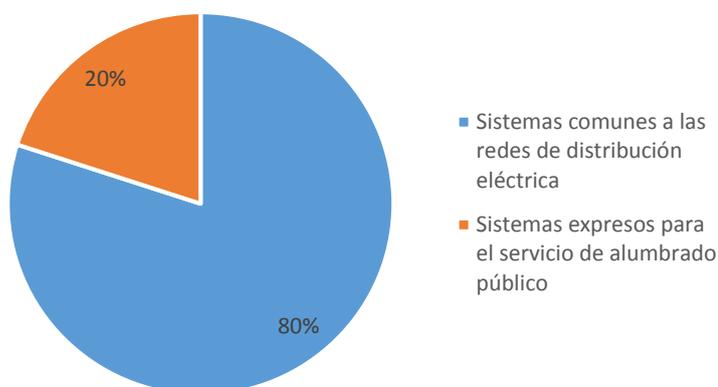


Figura 3.5. Sistemas de distribución de alumbrado público de la ciudad de Cuenca.

Las principales vías que utilizan los sistemas expresos son:[16]

- Autopista Cuenca - Azogues.
- Av. Cuenca - Medio Ejido - Sayausí.
- Av. de las Américas.
- Alumbrado Público en el Centro Histórico.
- Av. Panamericana Norte (en su mayor trayecto).
- Av. 12 de Octubre.
- Av. Fray Vicente Solano.
- Av. Los Andes.
- Av. González Suárez (parcial).
- Av. Primero de Mayo (parcial).
- Av. 24 de Mayo (Parcial).
- Calle Paseo 3 de Noviembre.
- Av. 12 de Abril (parcial).

3.2.7 Distribución (Disposición) del alumbrado

El sistema de alumbrado público en la ciudad cuenta con las siguientes distribuciones de luminarias: unilateral, bilateral, tresbolillo y central. Las



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



características de estas disposiciones fueron abordadas con mayor detalle en el punto 2.5 del Capítulo 2.

La distribución unilateral es utilizada principalmente en vías secundarias, en cuanto a la distribución bilateral es utilizada en avenidas y vías principales. En la Tabla 3.8 se enlista las vías que corresponden a estas distribuciones. La distribución central se utiliza en las avenidas que se muestra en la Tabla 3.9, por último la distribución tresbolillo se utiliza en avenidas y vías principales observadas en la Tabla 3.10.

Tabla 3.8. Vías de la zona urbana de Cuenca en distribución unilateral y bilateral. [5]

Distribución	Vías
Unilateral	Centro de la Ciudad.
	Áreas residenciales.
	Hurtado de Mendoza
Bilateral	Av. 1 de Mayo.
	Av. 24 de Mayo.
	Av. Huayna Cápac.
	Av. España.
	Av. 10 de Agosto.
	Av. 12 de Abril.
	Av. Pumapungo.
	Av. Max Uhle.

Tabla 3.9. Vías de la zona urbana de Cuenca en distribución central.[5]

Distribución	Vías
Central	Circunvalación Sur
	Av. De las Américas
	Av. Isabela Católica
	Av. Enrique Arízaga Toral
	Av. Paraíso
	Av. Los Andes
	Av. González Suarez
	Av. Gil Ramírez Dávalos
	Calle Vieja
	Calle De las Laderas
	Calle Turuhuaico
Central-Lateral (3 luminarias)	Calle Ricardo Muñoz Dávila
Central-Bilateral (4 luminarias)	Calle Roberto Crespo Toral

Tabla 3.10. Vías de la zona urbana de Cuenca en distribución tresbolillo.[5]

Distribución	Vías
Tresbolillo	Camino a Baños
	Panamericana Sur
	Av. Loja
	Av. Nicolás Roche
	Av. Don Bosco
	Av. Doce de Octubre
	Av. Felipe II
	Calle José Ortega
	Calle Hernán Malo Gonzales
	Calle Daniel Fernández de Córdova
	Calle Leopoldo Dávila Cordero
	Calle Padre Julio Matovelle
	Calle Juan Bautista Vásquez
	Calle Cesar Dávila Andrade
	Calle Federico Proaño
	Camino Del Tejar
	Calle Abelardo J. Andrade
	Calle Paucarbamba
	Av. Paseo de los Cañaris
	Av. Hurtado de Mendoza
Av. Huayna Cápac	
Calle Núñez de Bonilla	
Av. Remigio Crespo Toral	
Tresbolillo (4 luminarias)	Av. Primero de Mayo
	Paseo Rio Yanuncay
	Av. Veinte y Cuatro de Mayo
	Av. Pumapungo
	Calle Ricardo Darquea Granda
	Calle Víctor Manuel Albornoz
	Av. Tres de Noviembre
	Av. Ordoñez Lazo
Tresbolillo (6 luminarias)	Calle Agustín Cueva Vallejo
	Av. Juan Iñiguez V.
	Calle Luis Moreno Mora
	Av. González Suarez

3.2.8 Tipos de luminarias utilizadas

El alumbrado vial utiliza luminarias de sodio de alta presión de doble nivel de potencia y de mercurio de alta presión. Mientras que el alumbrado ornamental de parques, plazas y áreas deportivas, utilizan luminarias de luz mixta, proyectores de mercurio y sodio, además se utiliza luminarias LED.[16]

En la ciudad según el registro del Departamento de Análisis y Sistemas Geográficos de Distribución (SIGADE) se encuentran instaladas en la zona urbana de la ciudad Cuenca 35.951 luminarias (registro julio 2016), esta cifra engloba al alumbrado público vial-peatonal y al alumbrado ornamental. [5] La Tabla 3.11, muestra el tipo de luminaria y la cantidad de luminarias existentes en el alumbrado público de la ciudad.

Tabla 3.11. Cantidad de luminarias utilizadas en la ciudad de Cuenca [5]

Luminarias en la zona urbana de Cuenca 2016		
Tipo de luminarias	Cantidad	Porcentaje %
Mercurio Cerrada	490	1,4
Mercurio Abierta	162	0,5
Sodio Abierta	20	0,1
Sodio Cerrada	32.823	91,3
LED	658	1,8
Proyector de Sodio	1.351	3,8
Proyector de Mercurio	49	0,1
Ornamental	398	1,1
Total	3.951	

Del total de las luminarias del alumbrado público (35.951), las más utilizadas son las luminarias de sodio de alta con el 91.3%; seguidas por los proyectores de sodio con 3.8% y las LED con el 1.8%. [5] La Figura 3.6, muestra las luminarias en porcentaje utilizadas en la ciudad.

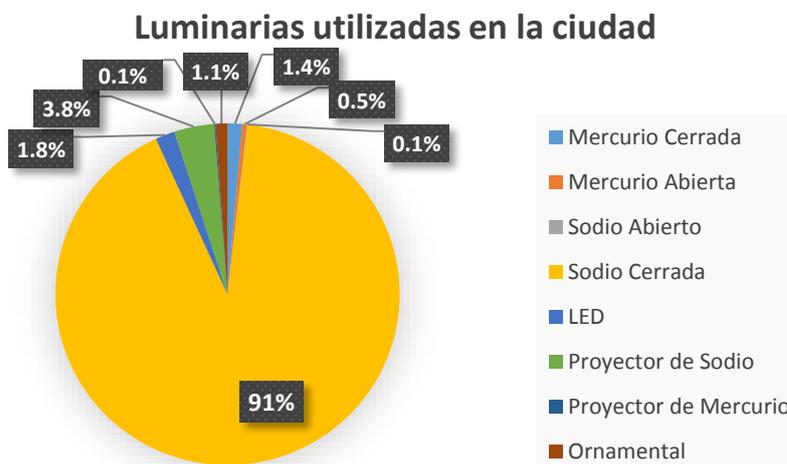


Figura 3.6. Cantidad en porcentaje de las luminarias utilizadas en la ciudad.

Las luminarias de doble nivel de potencia funcionan inicialmente a su máximo nivel de potencia y luego de haber transcurrido 5.5 horas, cambian su nivel de funcionamiento a un 70% de su potencia nominal hasta que se apagan, funcionando en este nivel por seis horas. En cuanto a las luminarias de



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



mercurio de alta presión son ineficientes y contaminantes, por esta razón en la ciudad son las menos utilizadas.[16]

Las luminarias utilizadas para el alumbrado vial son de distribución del flujo luminoso asimétrico. Para el alumbrado ornamental de parques y plazoletas, se utilizan luminarias y proyectores de distribución del flujo asimétrica o simétrica, según los requerimientos de las áreas a iluminar.[16]

3.2.9 Normativa de la CENTROSUR en cuanto a diseños lumínicos

La CENTRO SUR, en el año 2004, incorporó la norma “Recomendaciones y requerimientos técnicos para iluminación de vías públicas” donde se adoptó varias recomendaciones y definiciones de Normas Internacionales de Iluminación Pública, y los requerimientos luminotécnicos en cuánto a niveles de iluminancia, luminancia, uniformidades y deslumbramiento con el fin de proporcionar lineamientos generales para el alumbrado de vías públicas en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., debido a la inexistencia de una normativa propia relacionada en el País.[21]

Actualmente con la vigencia de la Regulación CONELEC 005/2014, la CENTROSUR ha adaptado la norma anteriormente citada a los lineamientos planteados por la Regulación, por otra parte, la CENTROSUR también cuenta con Procedimientos internos para la gestión del Alumbrado. En la Tabla 3.12, se muestra el nombre de tales procedimientos y sus respectivos códigos.

Tabla 3.12. Procedimientos de la CENTROSUR para diseños lumínicos.[20]

Procedimiento	Código
Construcción del sistema de alumbrado público: levantamiento de necesidades	P-DIDIS-119
Mantenimiento preventivo del sistema de alumbrado público: planificación	P-DIDIS-120
Mantenimiento preventivo del sistema de alumbrado público: ejecución	P-DIDIS-121
Mantenimiento correctivo del sistema de alumbrado público: atención de reclamos	P-DIDIS-132
Revisión y aprobación de diseños de alumbrado público: proyectos grandes	P-DIDIS-135
Proyectos pequeños de ampliación del alumbrado público.	P-DIDIS-147
Construcción de proyectos grandes de alumbrado público: liquidación	P-DIDIS-148
Elaborados por: Hugo Arévalo Revisados por: Santiago Pulla Aprobados por: Vinicio Méndez Autorizados por: Carlos Durán	



En estos procedimientos detallan paso a paso como se realizan las diferentes actividades de alumbrado. Esta información es exclusivamente del departamento de alumbrado público de la CENTROSUR.

3.2.9.1 Luminarias

Las luminarias tienen como objetivo dirigir sobre la calzada el flujo luminoso de las fuentes de luz, proteger las fuentes contra la intemperie y aislar térmicamente la fuente del ambiente exterior.

La selección de tipo luminaria está determinada por:

- La naturaleza y potencia de las fuentes.
- La naturaleza de la disposición óptica y de la distribución de la intensidad luminosa.
- El índice de rendimiento de luz de la luminaria.
- El tipo de luminaria.
- Su resistencia a la suciedad y a la corrosión.
- La facilidad de instalación y mantenimiento.

Las luminarias utilizadas para el alumbrado vial son de distribución del flujo luminoso asimétrico y son generalmente del tipo Semi Cut Off; esto es, suprimen los rayos luminosos emitidos por encima de un Angulo de 80°- 85° respecto de la vertical.[20]

Para el alumbrado ornamental, de parques y plazoletas, se utilizan luminarias y proyectores de distribución del flujo asimétrica o simétrica, según los requerimientos de las áreas a iluminar.

La CENTROSUR utiliza luminarias que cumplen con las especificaciones técnicas estipuladas en las “Unidades de propiedad” homologadas por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, estas especificaciones se encuentran en la “Sección 3: Especificaciones técnicas de materiales y equipos del sistema de distribución”. En la Figura 3.7, se ilustra una luminaria de simple nivel de potencia con lámpara de vapor de sodio de alta presión.



Figura 3.7 Luminaria simple nivel de potencia con lámpara de vapor de sodio de alta presión.

En el Anexo 1, se muestran los tipos de luminarias utilizadas en la ciudad de Cuenca.

3.2.9.2 Postes utilizados

Los postes deben instalarse en conformidad con las normas adoptadas por las empresas de suministro de energía eléctrica. Las “Unidades de propiedad” contienen las normas, requisitos y propiedades que nos ayudan a seleccionar cada material homologado.

La selección de los postes se basa en criterios del personal departamento de alumbrado público y las especificaciones particulares de cada poste. Las especificaciones de los postes se encuentran en la “Sección 3: Especificaciones técnicas de materiales y equipos del sistema de distribución”.

Los postes homologados que utiliza el CENTRO SUR son:

- Poste circular de hormigón armado auto soportante.
- Poste circular de plástico reforzado con fibra de vidrio.

3.2.10 Calidad del servicio

Las distribuidoras, son responsables de la prestación del servicio de alumbrado público por lo que deben garantizar la continuidad, calidad y seguridad este servicio. El ARCONEL en la Regulación 005/2014 “Prestación del Servicio de Alumbrado Público General” define parámetros de continuidad de servicio, que se mencionan a continuación.



Continuidad de Servicio

El alumbrado público deberá estar encendido durante toda la noche y durante las horas del día en las cuales sea necesario iluminación artificial. El tiempo medio de encendido será de doce horas. [3]

1. Tasa de falla

Las luminarias durante su vida útil están propensas a eventos que alteran su correcto funcionamiento y operación, por ende las empresas Distribuidoras deben llevar un control de todas las luminarias que presenten una falla, en este sentido la Tasa de falla se determina a partir de la siguiente expresión:

$$T_f = \frac{\text{Número de luminarias en falla}}{\text{Número de luminarias totales}} \quad (7) [3]$$

En donde:

“El número total de luminarias corresponde a las registradas por la empresa Distribuidora al inicio del mes, mientras que, las luminarias en falla corresponden a la suma de todas las reportadas como falladas durante el mes”. [3]

Para que una luminaria sea considerada en estado de falla, ésta debe de cumplir con una de las siguientes condiciones:

1. Si la luminaria es reportada como apagada durante el tiempo en que está programada para funcionar, sin importar el tiempo que haya permanecido en ese estado.
2. Si la luminaria es reportada como encendida durante el tiempo en que está programada para estar apagada.
3. Si la luminaria presenta un comportamiento intermitente en cualquier hora del día.

Para fines de calidad, la tasa de falla del sistema no podrá ser superior a 0,02.

2. Reposición del servicio en luminarias

Los tiempos máximos de reparación de una luminaria o un grupo de luminarias que se encuentren en estado de falla, tomando en consideración la hora del reclamo son:

Área urbana: 1 día
Área rural: 3 días

El tiempo de reposición de una luminaria en falla se contabilizará desde que es reportada como tal, hasta que haya sido reparada o sustituida según corresponda.



En la Tabla 3.13, se observa los valores establecidos por la Regulación 005/14 para los parámetros de continuidad del sistema de alumbrado público, estos valores garantizan un correcto funcionamiento y una pronta reposición del sistema de alumbrado público cuando se presentan fallas.

Tabla 3.13. Parámetros de continuidad establecidos en la regulación 005/2014[3].

Parámetros de Continuidad emitidos por el ARCONEL	
Índices	Regulación 005/2014
Tasa de falla	No debe ser superior a 0.02
Reposición del servicio en luminarias.	24 horas para áreas urbanas y 72 horas para áreas rurales

La CENTROSUR, en forma mensual y para cada uno de los diferentes tipos de luminarias que son de su jurisdicción, lleva un control de su funcionamiento, utilizando como sustento el reporte de operación y reclamos.

En la Tabla 3.14 se observa los valores de la tasa de falla y el tiempo de reposición de las luminarias en estado de falla para la ciudad de Cuenca durante el mes de Julio del año 2016, evidenciándose que tales valores cumplen con lo establecido en la Regulación 005/2014.[3]

Tabla 3.14. Parámetros de continuidad en la ciudad de Cuenca durante el mes de Julio de 2016. [22]

Parámetros de Continuidad		
Índices	Regulación 005/2014	CENTROSUR
Tasa de falla (número de luminarias en falla/número de luminarias totales).	Menor a 0.02	0.01424
Reposición del servicio en luminarias.	Sector urbano 24h	11.64 h

3.2.10.1 Satisfacción del cliente con el servicio de alumbrado público

La Comisión de Integración Energética Regional (CIER) es una Organización No Gubernamental, comprendida por empresas eléctricas y organismos sin fines de lucro. Está conformada por 10 países miembros y un comité regional para Centroamérica y el Caribe. Entre sus objetivos estratégicos figuran: mejorar la eficacia de las empresas del sector eléctricas y organismos gubernamentales.

Esta organización el 10 de septiembre de 2015, entregó los resultados de las encuestas respecto a la satisfacción del consumidor realizadas en el año 2015, las mismas que fueron contestadas por consumidores de 63 Distribuidoras de América del Sur y América Central que forman parte de la CIER.[20] Los resultados ubican a la CENTROSUR en el primer lugar entre las empresas de



distribución nacional, respecto a la Satisfacción del Servicio de Alumbrado Público.

La encuesta abordo los siguientes temas:

1. “Tener alumbrado público disponible en toda la ciudad/municipio/comuna”: con una aceptación para La CENTROSUR de 89.2%
2. “Tener alumbrado de calidad, es decir, calles y plazas bien alumbradas”: con una aceptación para La CENTROSUR de 89.5%
3. “Cuidados con el mantenimiento del alumbrado en calles y plazas (recambio de lámparas, postes, etc.)”: con una aceptación para La CENTROSUR de 87.3%.

El primer lugar obtenido por la CENTROSUR[23], da muestra de la correcta planificación, construcción, mantenimiento y operación del sistema de alumbrado público, además del cumplimiento de las normas de calidad y eficiencia energética que contribuyen a la seguridad y confort visual.

3.2.11 Gestión energética[16]

El alumbrado público es uno de los factores clave que inciden en el desarrollo productivo y social del país y de la región, por lo que hay que adoptar medidas que permitan tener sistemas eficientes y que ahorren energía. En el alumbrado la eficiencia energética trata de disminuir el consumo de energía con buenas prestaciones de servicio.

Una correcta gestión energética requiere de buenas políticas energéticas, el uso adecuado de la iluminación y elementos de control, así como también de restricciones en el horario de servicio. Estos parámetros son descritos con mayor detalle a continuación:

3.2.11.1 Políticas energéticas

Las políticas energéticas que se aplican en los sistemas de alumbrado público de la CENTROSUR, son de eficiencia y ahorro energético; de igual forma se ejecutan mejoras en los sistemas de alumbrado público utilizando equipos y tecnología más eficiente.

Las políticas de eficiencia y ahorro energético determinadas por la CENTROSUR son: [16]

- Aprobación de diseños que cumplan con las normas referidas.
- Uso de luminarias de doble nivel de potencia.
- Restricción horaria para canchas y alumbrado ornamental.
- Elaboración de especificaciones técnicas de materiales, en donde se observen requisitos de calidad, las mismas que se utilizan para la



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



adquisición de materiales relacionados a los sistemas de alumbrado, (luminarias, elementos de control, repuestos).

- Adquisición de materiales que cumplan estándares de calidad.
- Sustitución de luminarias de simple nivel de potencia por luminarias de doble nivel de potencia.
- Ejecución del plan de mantenimiento preventivo.
- Innovación de sistemas mediante la incursión en el uso de luminarias con tecnología LED, mediante proyectos piloto.
- Elaboración de procedimientos.

3.2.11.2 Uso de la iluminación

En la ciudad de Cuenca el alumbrado público da servicio a vías, canchas, parques, plazoletas, escalinatas, iluminación ornamental de fachadas de Iglesias y monumentos, que no son de uso particular conforme a lo dispuesto en la Regulación 005/14.

El alumbrado público cubre 109.253 km de vías en la ciudad de Cuenca, parques y canchas [5], de igual manera da servicio de iluminación ornamental a los templos y espacios públicos que se observan en la Tabla 3.15. [16]

Tabla 3.15. Templos y Espacios públicos iluminados de manera ornamental.[16]

Templos	Espacios públicos
San Blas.	Parque de la Merced.
San Sebastián.	Parque Calderón.
Santo Cenáculo.	Parque San Blas.
Catedral de La Inmaculada Concepción.	Parque San Sebastián.
Catedral Antigua.	Parque Víctor J. Cuesta.
Todos Santos.	Parque María Auxiliadora.
La Merced.	Plazoleta Santo Domingo.
San Pedro.	Plazoleta de El Vado.
San Alfonso.	Plaza Cívica.
Santo Domingo.	Plaza del Carbón.
Buen Pastor.	Parque de La Música.
San Francisco.	Bajada de Todos Santos.
Iglesia de las Marianitas.	El Barranco.
El Carmen.	Parque de la Merced.
La Espadaña.	
Corazón de Jesús.	
Turi.	

3.2.11.3 Elementos de control

Los elementos de control en el alumbrado público permiten el control las luminarias de forma remota, optimizando los tiempos de encendido y de apagado; ajustándolos exactamente a las condiciones de ahorro deseadas. La



Tabla 3.16, muestra los elementos utilizados para el control de los sistemas de iluminación de la ciudad de Cuenca.

Tabla 3.16. Elementos para el control de los sistemas de iluminación [16]

Sistemas de iluminación	Elementos
Iluminación vial	Fotocontroles instalados en las luminarias
	Fotocontroles instalados a relés que controlan circuitos de iluminación mediante hilo piloto.
Iluminación ornamental	Relés con reloj o Controlador Lógico Programable (PLC), que controlan circuitos de iluminación ornamental.
Iluminación de canchas	Fotocontroles instalados a relés que controlan circuitos de iluminación mediante hilo piloto

3.2.11.4 Restricciones de horario del servicio de alumbrado

A partir del año 2002 la ciudad de Cuenca cuenta con políticas de restricción horaria, para el uso de los sistemas de iluminación ornamental de templos, canchas deportivas y parques. Estas políticas fueron establecidas mediante el Memorando DIDIS-1153, y se basan en las recomendaciones indicadas en la Noma NTC-900.

Las razones por las que se plantearon las restricciones horarias fueron las siguientes:

- “Ahorrar energía en los sistemas de iluminación ornamental, de canchas y plazas.
- Aspectos de seguridad.
- Cuenca es Patrimonio Cultural de la Humanidad, por lo que hay recorridos nocturnos de turistas que admiran los aspectos estéticos de la ciudad que se resaltan con la iluminación.
- A partir de las 22h00 no se utiliza las canchas para uso apropiado.” [16]

Llegando a definirse los siguientes horarios de iluminación ornamental.

- “Templos y monumentos: se iluminan todas las noches de 18h45 a 21h30.
- Parques: se mantienen iluminados todas las noches.
- Canchas deportivas: funcionan los días jueves de 18h45 a 22h00, los días viernes de 18h45 a 22h30, sábados de 18h45 a 22h00 y domingos de 18h45 a 21h30.”[16]



3.2.12 Criterios de iluminación del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Cuenca

El (GAD) municipal de Cuenca a través de la Fundación Iluminar presta al cantón de Cuenca el servicio de alumbrado ornamental de edificaciones patrimoniales, alumbrado navideño y de fiestas comarcanas, además realiza proyectos de gestión de alumbrado público, todo esto bajo el cumplimiento de normas nacionales e internacionales de iluminación y los requerimientos luminotécnicos en cuanto a niveles de iluminancia, luminancia y uniformidad.

Los criterios de iluminación que maneja el GAD municipal están relacionados con los estipulados en la Regulación 005/14 emitida por el ARCONEL, además de contar con la asesoría de la CENTROSUR cuando se trata de analizar un determinado tipo de luminaria, con el fin de conocer si la misma cuenta con los requerimientos técnicos y energéticos indicados por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER). Los criterios estéticos relacionados a la instalación de nuevas fuentes de iluminación son realizados por el personal del GAD.



CAPÍTULO 4

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD POTENCIA

Introducción

El uso racional y eficiente de la energía en el sistema de alumbrado público es fundamental siendo necesario establecer índices energéticos que permitan evaluar y comparar la eficiencia energética de éstos sistemas, ante lo cual en el presente capítulo se procede a calcular la Densidad de Potencia Eléctrica para el Alumbrado Público (DPEA) de las vías de la ciudad Cuenca, describiéndose la metodología y consideraciones que se deben tomar en cuenta a la hora de calcular este índice energético.

La aplicación del concepto de la DPEA durante el diseño, ampliación o modificación de un sistema de alumbrado público, permite tener sistemas eficientes que cuentan con equipos y tecnologías de alta eficacia lumínica, sin menoscabar los niveles de iluminación requeridos.

4.1 CÁLCULO DE LA DPEA

La determinación de la DPEA se calcula a partir de la carga total conectada para alumbrado y del área total por iluminar, su unidad de medida es W/m^2 , donde la carga total conectada para alumbrado está expresada en vatios y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado. [2]

4.1.1 Consideraciones para el cálculo de la DPEA

Para el cálculo de la DPEA se deben realizar las siguientes consideraciones:

- No incluir las áreas destinadas a aceras o parterres en el cálculo de la DPEA.
- 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.[4]
- Las vías con velocidades superiores a los 60 Km/h y diseñadas con el criterio de luminancia presentaran un cálculo diferente, la DPEA es sustituida 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.[2]

El valor máximo de EER aceptado será 0,8 W/cd.Los valores para cálculo serán tomados de la información suministrada por el fabricante.[2]



4.1.2 Metodología

La metodología adoptada para el cálculo de la DPEA se basa en las indicaciones propuestas por el RETILAP en la sección 510.6 “Uso racional de energía en alumbrado público” y a un procedimiento establecido en el presente trabajo de titulación, siendo la siguiente:

4.1.2.1 Cálculo de área de las vías de la ciudad de Cuenca

El cálculo del área de cada una de las vías que conforman la red vial de la ciudad de Cuenca se lo realiza en base a la información proporcionada por el Departamento SIGADE de la CENTROSUR, este Departamento cuenta con una base de datos desarrollada en ArcGIS el cual es un “sistema completo que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica”.

En la base de datos del SIGADE se encuentra toda la red vial del cantón Cuenca, así como también las luminarias y sus respectivas potencias que se hallan instaladas en las vías del cantón, por lo que en primera instancia se procede a utilizar la herramienta *Clip* de ArcGIS la cual permite discretizar la información, obteniéndose al final solo información referente a la parte urbana del cantón Cuenca, la cual es objeto del presente estudio.

Una vez definida la parte urbana del cantón Cuenca se procede a la creación de un archivo Shapefile para cada una de las avenidas, calles y retornos que conforman la red vial de la ciudad.

- **Creación de un Shapefile**

La creación de un Shapefile para la medición del ancho y área de una vía comprende una serie de pasos, la descripción de cada uno de ellos se lo realiza en base a un ejemplo. La vía que sirve de ejemplo para este y otros apartados del presente trabajo es la Calle Chile ubicada en la parroquia el Batán.

Paso 1: La creación de un Shapefile de una vía inicia con la ubicación de esta en la base de datos, en la Figura 4.1 se observa una imagen de la calle Chile extraída del software ArcGIS, mientras que en la Figura 4.2 se aprecia una fotografía de la misma tomada in situ.

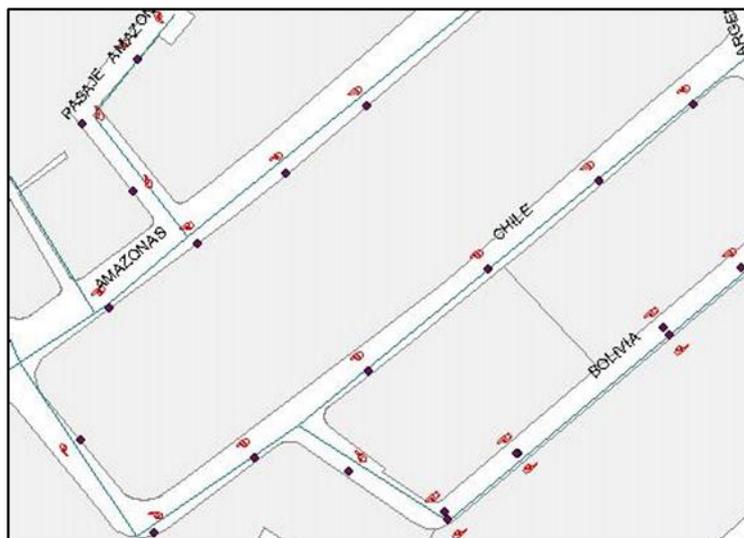


Figura 4.1. Calle Chile perteneciente a la parroquia Batán de la ciudad de Cuenca.



Figura 4.2 Calle Chile.

Paso 2: Se procede a abrir la aplicación *ArcCatalog*  una vez abierto, se selecciona la carpeta en donde se guardará el Shapefile y se ejecuta un clic derecho para desplegar el diálogo de opciones, seleccionándose *New/Shapefile*. Figura 4.3.



Figura 4.3. Creación de un Shapefile.

Paso 3: La herramienta *Create New Shapefile*, permite especificar los siguientes parámetros:

- **Name:** corresponde al nombre de la capa, en nuestro caso se especifica el nombre de la calle Chile.
- **Feature type:** permite seleccionar el tipo de geometría de la capa que se va a crear, la geometría puede ser: punto, lineal o polígono, siendo éste último el seleccionado para el desarrollo del presente estudio.
- **Spatial Reference:** permite asignar un sistema de coordenadas al polígono a través del botón *Edit*. Figura 4.4

Al presionar OK la nueva capa se creará y estará lista para su edición.

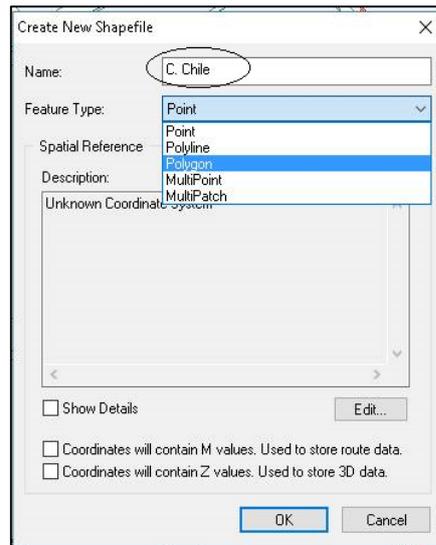


Figura 4.4. Parámetros de configuración del nuevo Shapefile.

Paso 4: En este paso se procede a editar la capa creada en el Paso 3, siendo necesario dirigirse a la capa C. Chile y con un clic derecho se despliega una nueva ventana, en la que se selecciona *Edit Features/ Start Editing*. Figura 4.5.

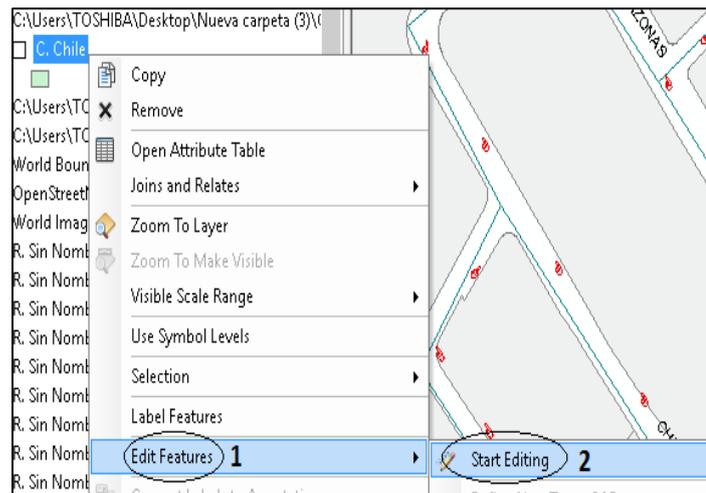


Figura 4.5. Edición de la capa creada.

Paso 5: Para iniciar la edición de la capa se selecciona la pestaña *Trace*. Figura 4.6. Esta pestaña permite crear el contorno de la calle de la cual se espera obtener el área, en el Figura 4.7 (a) se inicia a recorrer el contorno de la calle Chile, su resultado final se observa en la Figura 4.7 (b), en donde el polígono ya ha delimitado a la calle.

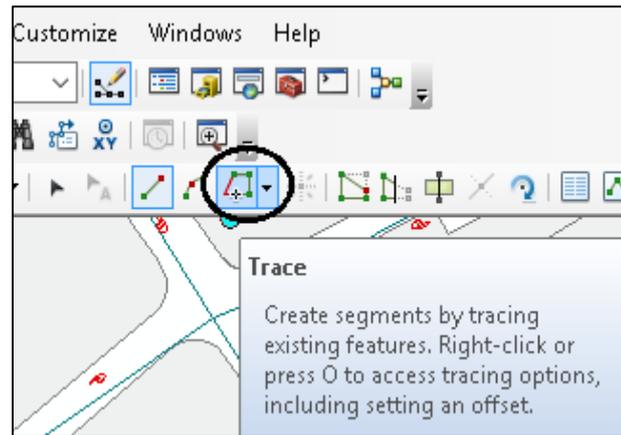


Figura 4.6. Pestaña Trace para la delimitación de la calle Chile.

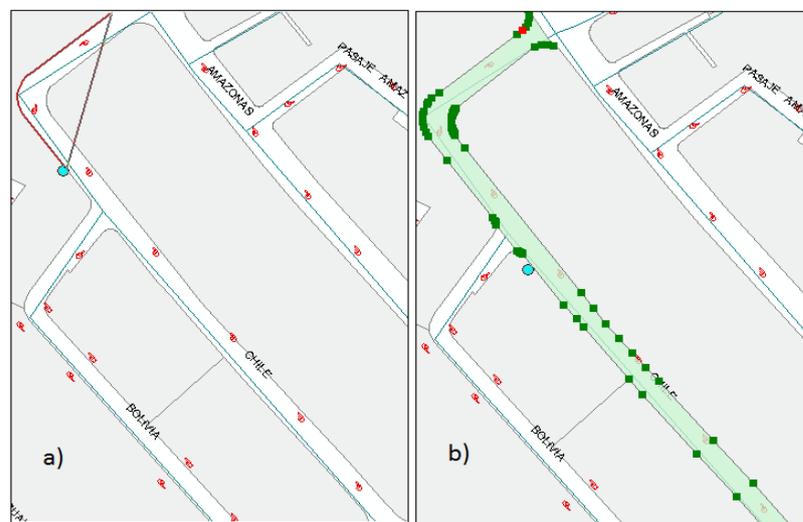


Figura 4.7. a) Inicio del trazado del polígono de la calle Chile.
b) Delimitación de la calle Chile.

Paso 6: Una vez creado el Shapefile se procede a añadir un nuevo campo llamado *Área*, para lo cual se debe dar un clic derecho sobre el nombre del polígono (C. Chile), y seleccionar *Open Attribute Table*, Figura 4.8 (a), lo cual permite desplegar una nueva ventana en donde se debe especificar los siguientes parámetros:

- **Name:** corresponde al nombre del nuevo campo, el cual es el de *Área* para el presente trabajo.
- **Type:** permite seleccionar el tipo de variable a utilizarse de acuerdo a las necesidades del usuario, por lo que se selecciona una variable tipo *Double* (*variable numérica*). Figura 4.8 (b).

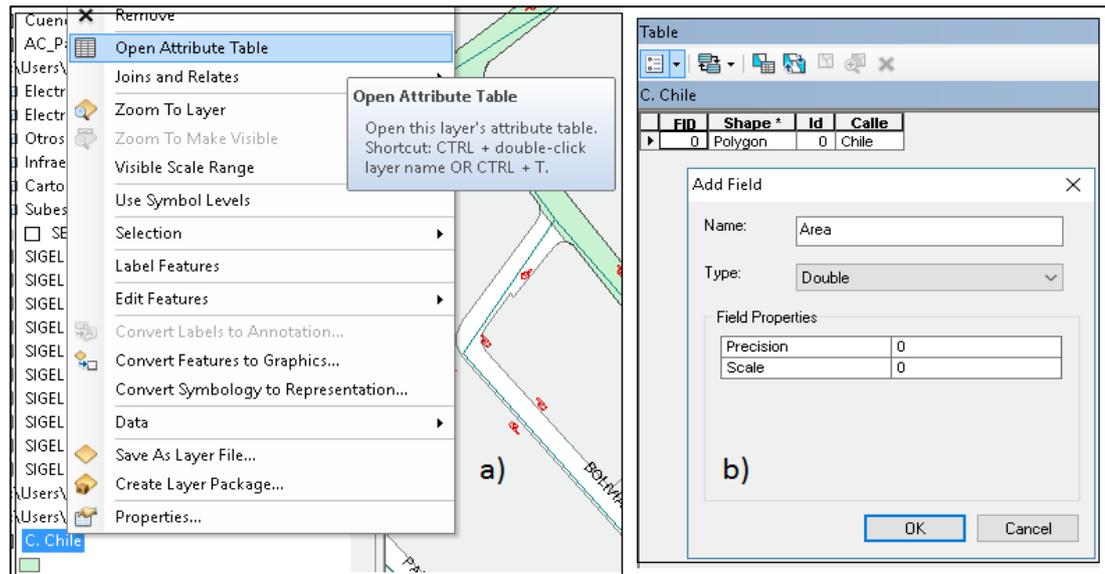


Figura 4.8. a) Ventana de la tabla de atributos de la calle Chile.

b) Creación de un nuevo campo para el cálculo del área de la calle Chile.

Paso 7: En este último paso nos situamos sobre el campo Área y con un clic derecho desplegamos una ventana, en la que se selecciona la opción: *Calculate Geometry*, Figura 4.9 (a). Al seleccionar *Calculate Geometry* de forma inmediata se obtiene el área de la calle, en la Figura 4.9 (b) se observa el resultado del cálculo del área para la calle Chile.

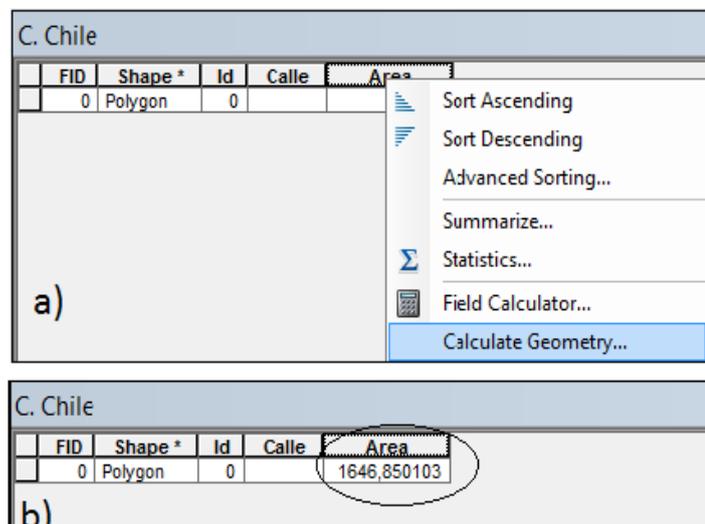


Figura 4.9. Resultado del cálculo del área para la calle Chile.

4.1.3 Cálculo de la potencia de las luminarias

El cálculo de la DPEA implica también conocer la carga total conectada para alumbrado en cada una de las vías de la ciudad, esta carga esta expresada vatios, y los pasos para determinarlas se detallan a continuación:

Paso 1: Para determinar la potencia total de las luminarias instaladas en la calle Chile se hace uso de la herramienta *Select by Location*, la cual nos permite seleccionar entidades en función de su ubicación relativa a las entidades de otra capa. Esta herramienta se observa en la Figura 4.10.

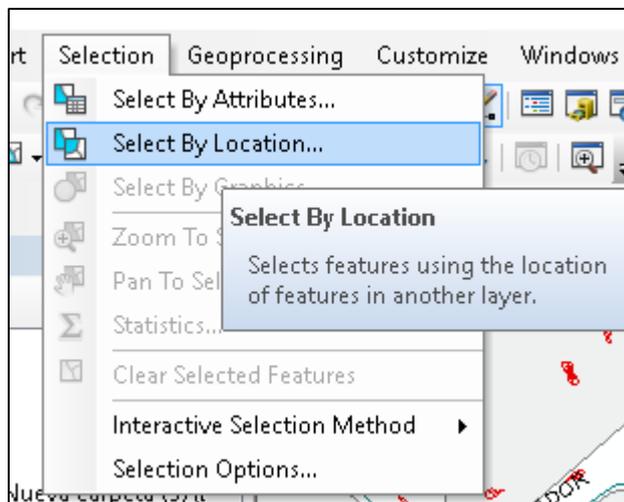


Figura 4.10. Herramienta *Select by Location* para el cálculo de la potencia de las luminarias de una vía.

Paso 2: en este paso se realiza una intersección entre la capa Cuenca_LimiteUrbano_Intersec6 (capa que contiene las luminarias de la zona urbana del cantón Cuenca) y la capa Chile, esta intersección permite obtener solo las luminarias que se encuentran instaladas en la calle de estudio. Figura 4.11 y Figura 4.12.

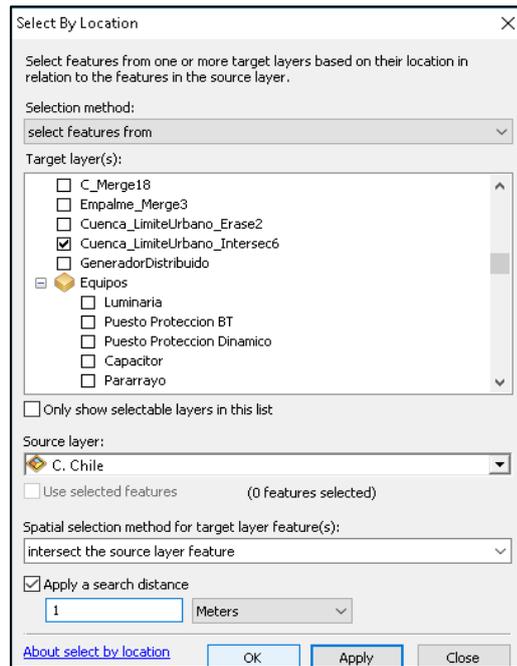


Figura 4.11. Intersección de capas.

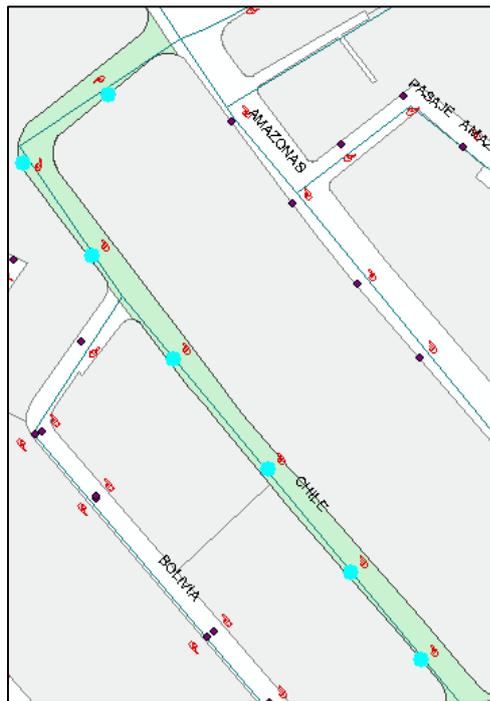


Figura 4.12 Luminarias instaladas en la calle Chile.

Paso 3: En el Paso 2 ya se identificaron las luminarias que se hallan instaladas en la calle Chile, en este paso se procede a abrir la tabla de atributos de la capa Cuenca_LimiteUrbano_Intersec6 en ella se observa una tabla resumen en la que se detalla el nombre de la parroquia, el código y estructuras de las luminarias instaladas en la calle de estudio. Figura 4.13

	PARROQUIA	Codigo Luminaria	Codigo Estructura	Subtipo
▶	EL BATÁN	73077	AP00312	4
	EL BATÁN	73078	AP00312	4
	EL BATÁN	73079	AP00312	4
	EL BATÁN	85177	AP00318	4
	EL BATÁN	85178	AP00318	4
	EL BATÁN	85179	AP00318	4
	EL BATÁN	85180	AP00318	4

Figura 4.13. Resumen de las luminarias instaladas en la calle Chile.

Paso 4: Identificadas las luminarias que pertenecen a la calle Chile, se procede a exportar esta información a un archivo Excel, esto permite comparar los códigos de las luminarias con la base de datos proporcionada por el Departamento SIGADE y con ello obtener las potencias de cada ellas. El proceso de exportación de la información se lo hace mediante la pestaña *Table Options* y seleccionando la opción *Export*, esto se puede observar en la Figura 4.14

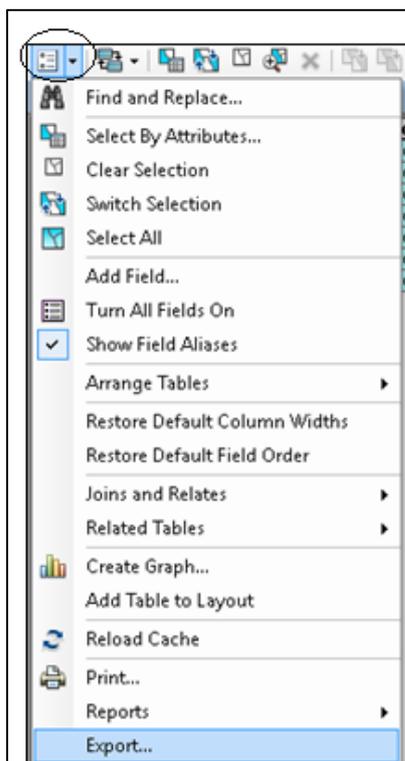


Figura 4.14. Exportación de información desde ArcGIS a Excel.

4.1.4 Cálculo de la DPEA

Una vez que se calcula el área de la calle y se determina la potencia total de las luminarias se procede a la creación de un libro en Excel, en él se realiza el

cálculo de la DPEA, los resultados de este cálculo se los observa en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Cálculo de la DPEA para la calle Chile.

Nombre de la calle: Chile					
Número de lámparas	Código Estructura	Potencia de lámpara (W)	Potencia de luminaria (W)	Área (m ²)	DPEA (W/m ²)
1	APO0318	150	163		
2	APO0318	150	163		
3	APO0318	150	163		
4	APO0318	150	163		
5	APO0312	150	163		
6	APO0312	150	163		
7	APO0312	150	163		
Total:			1141	1646,84	0,692

4.1.4.1 Comparación de la DPEA entre luminarias de sodio y Led

La tecnología Led presenta una mayor eficiencia y un mayor ahorro energético que las luminarias de sodio, en la Tabla 4.2 se observa la equivalencia en vatios que tiene una luminaria tipo sodio con una Led y en base a ello se determina la DPEA para los dos casos, notándose en la Tabla 4.3 que la DPEA para la calle Chile con luminarias tipo Led es mucho menor que con las de sodio, lo cual resulta positivo puesto que en teoría se mantienen los niveles de iluminación requeridos para tal calle pero se tiene un menor consumo energético.

Tabla 4.2. Equivalencia entre luminaria tipo sodio y Led.[24]

Luminarias de sodio	Luminaria LED equivalente
Luminaria 150 W	Luminaria 68 W
Luminaria 205 W	Luminaria 120 W
Luminaria 400 W	Luminaria 200W

Tabla 4.3. DPEA con luminarias de sodio y Led.

Número de lámparas	Área	Sodio		LED	
		Potencia	DPEA	Potencia	DPEA
1		163		74,8	
2		163		74,8	
3		163		74,8	
4		163		74,8	
5		163		74,8	
6		163		74,8	
7		163		74,8	
	1646,84	1141	0,69	523,6	0,31

4.1.5 Cálculo de la Relación de Eficiencia Energética (EER)

En la ciudad de Cuenca existen vías cuyas velocidades de circulación superan los 60 Km/h, siendo necesario sustituir el criterio de la densidad de potencia por el de la Relación de Eficiencia Energética (EER) para el análisis del uso racional y eficiente de la energía. Las vías que son analizadas bajo el criterio de la EER son: la Circunvalación Sur, Enrique Arizaga Toral, Panamericana Norte y Panamericana Sur.[12]

En la Tabla 4.4 se observa el valor de la potencia de las luminarias instaladas en las vías antes mencionadas, así como también el valor del área que nos servirán para el cálculo de la EER una vez obtenido la luminancia de cada vía.

Tabla 4.4 Potencia y área de las vías con velocidades superiores a 60 Km/h.

Nombre	Potencia (W)	Área (m ²)
Circunvalación Sur	209375	380570,0
Enrique Arizaga Toral	16400	17012,1
Panamericana Norte	63229	71466,2
Panamericana Sur	28357	19784,5

4.1.6 Ancho de las vías

El análisis de la eficiencia energética de un sistema de alumbrado público mediante la DPEA, también implica conocer el ancho de las vías, por lo que en este apartado se explica los pasos a seguir, para medir el ancho de las vías de la ciudad de Cuenca usando el software ArcGIS.

Paso 1: como primer punto se debe de seleccionar la pestaña *Measure* ubicada en la barra de herramientas principal del programa ArcGIS, esta pestaña permite medir el área de un polígono o la longitud de una línea, siendo de gran ayuda a la hora de determinar la longitud de las vías de la ciudad de Cuenca. Figura 4.15

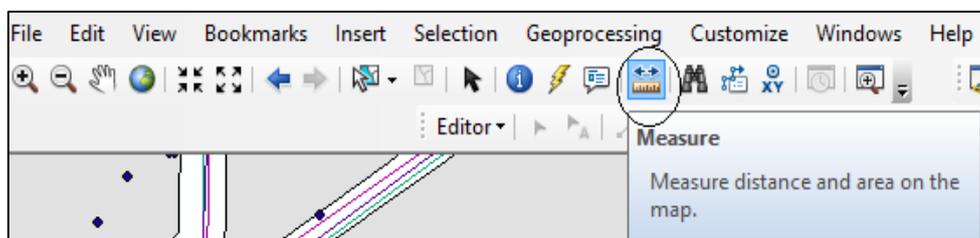


Figura 4.15. Pestaña *Measure* para la medición del ancho de las vías de la ciudad de Cuenca.

Paso 2: luego de seleccionar la pestaña *Measure* se despliega una ventana en ella se visualiza el valor del ancho de la vía luego de

seleccionarlo, en la Figura 4.16 se observa con una línea azul la medición del ancho de la calle Chile y su respectivo valor en la esquina superior izquierda.

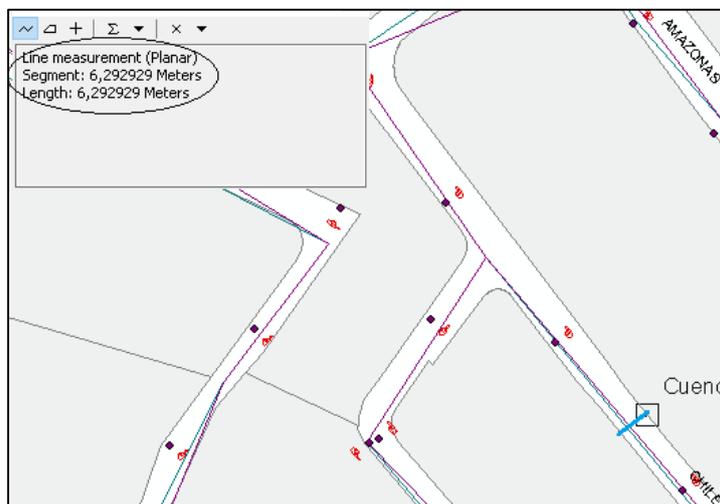


Figura 4.16. Medición del ancho de la calle Chile.

Nota: Debido a que el valor del ancho de una vía no es el mismo en todas sus partes, se procede a sacar el promedio de varias medidas, el número de mediciones va desde 3 medidas para vías pequeñas (retornos) hasta 40 medidas para vías de gran longitud (avenida).

4.1.6.1 Error en las mediciones del ancho de las vías

La medición del ancho de las vías con el software ArcGIS puede estar sujeto a errores de medición por lo que se procede a contrastar el valor obtenido con mediciones en campo, para lo cual se escogieron 10 calles y se procedió a realizar las mediciones respectivas, los resultados de esta actividad se los observa en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Contrastación de medidas.

Calle	Ancho (m) ArcGIS	Ancho (m) Medido	Error porcentual de medición %
Bolivia	6,25	6,43	2,80
Chile	6,76	6,8	0,59
Dolores Veintimilla	7,51	7,29	3,01
Federico Malo	10,2	10	2,00
Federico Proaño	11,37	11,02	3,22
Honorato Loyola	10,2	9,86	3,44
Inés Salcedo	7,15	7,23	1,11
José Alvear	8	8,1	1,23
Tadeo Torres	7,8	8,01	2,62
3 de Noviembre	5,4	5,38	0,37



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



En la Tabla 4.5 se observa que el valor de las mediciones realizadas en el programa ArcGIS no difiere en gran medida con las realizadas en campo, de acuerdo al artículo: el “Tamaño de la muestra” elaborado 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 el presente estudio se tiene errores de medición menores al 4% por lo que se concluye que las mediciones realizadas en el programa son aceptables.



CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LA DENSIDAD POTENCIA DETERMINADA

Introducción

Todo sistema de alumbrado público debe de cumplir con los requisitos fotométricos requeridos por cada una de las vías que conforman la red vial de una ciudad y no deben exceder los valores máximos de densidad de potencia eléctrica (DPEA) estipulados en las normas propias de un país o normas internacionales.

En el presente capítulo se realiza un análisis de los valores de la DPEA determinados en el capítulo anterior para las vías de la ciudad de Cuenca y con ello se identifica que vías no cumplen las recomendaciones de eficiencia energética y plantear alternativas que permitan tener un sistema de alumbrado más eficiente.

5.1 NIVEL DE ILUMINANCIA PROMEDIO

El análisis de la DPEA se lo realiza en base a los valores de la iluminancia promedio presente en las vías de la ciudad. El valor de la iluminancia varía de una vía a otra y depende exclusivamente de las características propias de cada una de ellas, motivo por el cual, en los próximos párrafos se describen las características de la red vial de la ciudad, para luego determinar la clase de iluminación de las vías y sus requisitos de luminancia o iluminancia.

5.1.1 Red vial de la ciudad de Cuenca[12]

La red vial de la ciudad de Cuenca está formada por avenidas, calles y retornos que permiten la libre circulación de peatones y vehículos, su objetivo principal es el de mejorar la movilidad y los tiempos de traslado. Además, la red vial responde a jerarquías establecidas y a una planificación global en el que se incluyen temas como el uso del suelo, expansión de la ciudad y transportación pública.

Dentro de la jerarquización del sistema funcional de vías en la ciudad de Cuenca se tiene la siguiente clasificación:

Tipos de vías

- **Viario principal urbano:** Este tipo de vías permite viajes medianos y prolongados a lo largo de la ciudad, así como la conexión de ésta con otros destinos externos a través de la red estatal. Disponen de al menos dos carriles por sentido y una gestión eficaz del tráfico sin afectar la

circulación de los peatones, las principales características de este tipo de vías se observan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Características principales del viario principal urbano.[12]

Viario principal urbano
Velocidad máxima permitida 50 km/h
Intensidades < 800 veh/h/c
4 carriles, dos por sentido
Plataformas de acera con un mínimo de 2,00 m libres
Distribución modal motorizado/no motorizado: 80% / 20%
Estructura semafórica prioritaria

veh/h/c = vehículos/hora/carril.

- **Viario secundario urbano:** Estas vías canalizan “el tráfico de acceso a los barrios que proceden del viario principal y con destino local, o bien la salida de los barrios procedentes del viario local con destino al principal”[12]. Además, permiten la conectividad del Centro Histórico con las diferentes zonas de la ciudad, sus principales características se aprecian en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Características principales del viario secundario urbano.[12]

Viario secundario urbano
Velocidad máxima permitida 40 km/h
Intensidades < 500 veh/h/c
Plataformas de acera con un mínimo de 2,00 m libres
Distribución modal motorizado/no motorizado: 70% / 30%

- **Red local urbana:** Estas vías pertenecen al viario interior de los barrios, poseen una intensidad de tráfico mínimo. Las principales características de esta red vial se visualizan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Características principales de las vías de la red local urbana.[12]

Red local urbana
Velocidad máxima permitida 30 km/h
Intensidad máxima 400 veh/h/c
Plataformas de acera con un mínimo de 2,50 m libres
Distribución modal motorizado/no motorizado: 50% / 50%
Cruces peatonales a nivel

- **Vías territoriales:** Estas vías se caracterizan por poseer una velocidad de circulación de 90 km/h y una alta intensidad vehicular, dentro de este grupo se encuentra la Panamericana Norte y Sur, la Circunvalación Sur y la avenida Enrique Arizaga Toral.

- **Retornos:** Son calles que no poseen salida, su velocidad de circulación es de menor o igual a 20 km/h y permiten la conexión con el viario secundario urbano.

En la Figura 5.1 se aprecia los diferentes tipos de vías que conforman la red vial de la ciudad de Cuenca.

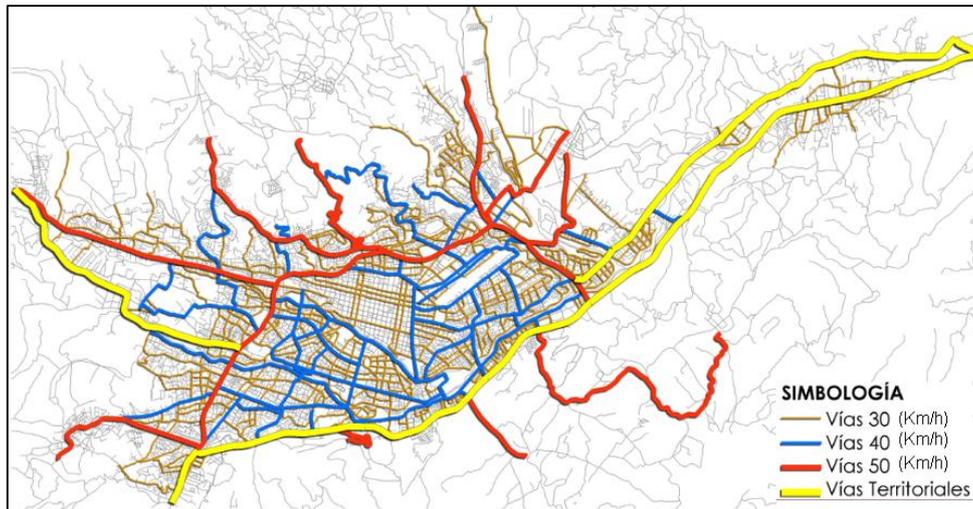


Figura 5.1. Red vial de la ciudad de Cuenca.[12]

5.1.2 Clases de iluminación

En el RETILAP la asignación de una clase de iluminación (M1...M5) para una vía, se lo hace en función de las características de la vía, siendo las principales la velocidad y el número de vehículos que circulan en una hora. En la Tabla 5.4 se observa las clases de iluminación para las vías vehiculares establecidas por el RETILAP.

Tabla 5.4 Clases de iluminación para las vías vehiculares.[2]

Clase de iluminación	Descripción de la vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	$V > 80$	Muy importante	
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	$60 < V < 80$	Importante	$500 < T < 1000$
M3	Vías de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras	Media	$30 < V < 60$	Media	$250 < T < 500$
M4	Vías de acceso a zonas residenciales	Reducida	$V < 30$	Reducida	$100 < T < 250$

M5	Conectores de vías de poca importancia	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100
----	----------------------------------------	--------------	---------	--------------	-------

5.1.3 Clases de iluminación para las vías de la ciudad de Cuenca

La red vial de la ciudad de Cuenca está compuesta por vías que poseen una velocidad de circulación y un tránsito vehicular específico, por lo que en este apartado se procede a asignar una clase de iluminación a las vías de la ciudad en base a las velocidades de circulación y la descripción de las vías establecidas en la Tabla 5.4 basados en el RETILAP, los resultados de esta clasificación se observan en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Clases de iluminación de las vías de la ciudad de Cuenca.

Clase de iluminación	Avenidas	Calles	Retorno
M1	90 km/h	-	-
M2	50-40 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

En la Tabla 5.6 se observa el número de vías de la ciudad de Cuenca que pertenecerían a cada clase de iluminación establecidas en la Tabla 5.5

Tabla 5.6. Número de vías por clase de iluminación.

Tipo	Avenidas	Calles	Retornos	Total
M1	4	0	0	4
M2	31	19	0	50
M3	24	399	58	481
M4	0	1402	524	1926

En la tabla anterior se observa que en la ciudad existen una mayoría de vías con clase de iluminación M4, lo cual representa un 78% del total de vías. Las vías M3 y M2 constituyen el 20% y 2% respectivamente del total de vías, en la Figura 5.2 se puede apreciar lo mencionado.

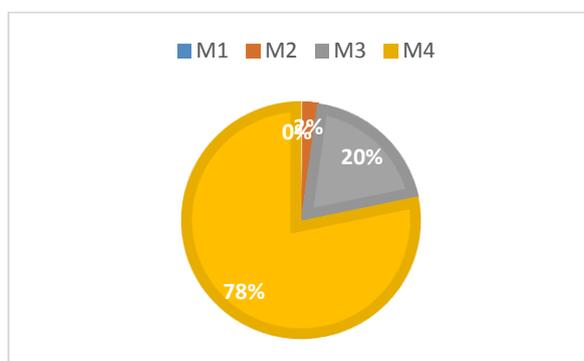


Figura 5.2. Clase de iluminación de las vías de la ciudad de Cuenca.

5.1.4 Valores de iluminancia promedio de las vías de la ciudad de Cuenca

En el Capítulo 2 se especificaron las clases de iluminación para las vías vehiculares (M1...M5) basados en la regulación 005/2014, en función de sus características y los requerimientos visuales. En la Tabla 2.2 se observa que para cada clase de iluminación le corresponde un valor de luminancia promedio, sin embargo, “estos valores pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando por el coeficiente R del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando este no se conozca”. [25]

En la Tabla 5.7 se observa los valores de iluminancia para los diferentes tipos de vía, luego de haber pasado del criterio de luminancia al de iluminancia.

Tabla 5.7. Valores de luminancia e iluminancia por clase de iluminación para tráfico motorizado.

Clase de Iluminación	Luminancia promedio ($\frac{cd}{m^2}$)	Iluminancia promedio ($\frac{lm}{m^2}$)
M1	2,0	30
M2	1,5	23
M3	1,2	18
M4	0,8	12
M5	0,6	9

Con la información expuesta anteriormente se determina el valor de la iluminancia promedio para las vías de la ciudad, éste valor depende de la velocidad de circulación y de la clase de iluminación, a continuación se presenta un ejemplo:

Ejemplo:

La calle Chile posee una velocidad de circulación de 30 Km/h y al ser una vía de tráfico urbano pertenece a la clase de iluminación M4. Una clase de iluminación M4 requiere una iluminancia promedio de 12 lux, este valor es contrastado con mediciones de campo, en donde se obtiene un valor de 15 lux lo cual no difiere en gran medida al requerido. El alumbrado de la calle Chile se observa en la Figura 5.3, mientras que en la Figura 5.4 se visualiza el luxómetro con el que se realizaron las mediciones.

Una vez comprobado que los valores de iluminancia calculados no presentan mayor variación a los medidos, se procede a estimar la iluminancia del resto de vías por el método planteado en el presente documento, el resultado de este proceso se observa en el Anexo 3, a manera de ejemplo en la Tabla 5.8 se observa la iluminancia promedio requerida por 10 vías de la ciudad.



Figura 5.3 Alumbrado de la calle Chile.



Figura 5.4 Luxómetro.

Tabla 5.8. Iluminancia promedio de las vías de la ciudad de Cuenca.

Nombre	Velocidad (Km/h)	Clase iluminación	Iluminancia promedio (Lx)
Bolivia	20	M4	12
De Las Américas	50	M2	23
Diez De Agosto	40	M2	23
Doce De Abril	40	M2	23
Don Bosco	40	M2	23
Huayna Cápac	40	M2	23
Padre Aguirre	20	M4	12



Remigio Crespo Toral	50	M2	23
Remigio Tamariz Crespo	30	M3	18
Unidad Nacional	40	M2	23

5.1.5 Ancho de calzada

En el Capítulo 4 se determinó el ancho de las vías de la ciudad por lo que en este apartado se procede a clasificar los diferentes anchos de acuerdo a la nomenclatura expuesta en la Tabla 5.9

Tabla 5.9. Anchos de las calzadas de las vías.

Ancho de calzada (m)				
< 6	6 a 8	8.1 a 10	10.1 a 12	12,1 a 14
A	B	C	D	E

Nota: Cuando se tiene anchos de las vías diferentes a los mostrados en la Tabla 5.9 se tiene en cuenta las siguientes consideraciones

- Para anchos de calle menores de 6 m se toman los valores de la columna de A.
- Para anchos de calle mayores de 14 m se toman los valores de la columna de E.

5.2 DPEA MÍNIMA

En el RETILAP se establecen los valores máximos de DPEA para una vía, sin embargo estos valores no nos permite conocer si una vía se encuentra iluminada correctamente por lo que en este apartado se propone calcular una DPEA mínima para cada vía de la ciudad, de esta forma si los valores de la DPEA obtenidos en Capítulo 4 se encuentran dentro del siguiente rango: $DPEA_{min} - DPEA_{max}$ se podría concluir que la vía se encuentra iluminada correctamente y posee un uso racional y eficiente de la energía.

Para el cálculo de la $DPEA_{min}$ es necesario conocer el valor de la carga total mínima conectada para alumbrado de una vía y el área total iluminada, este último valor ya se conoce de las mediciones realizadas en el Capítulo 4, mientras que la carga mínima se determina con la siguiente expresión:

$$P_{min} = E \times A / \eta \quad (9)$$

En donde:

P_{min} = Potencia mínima de una vía (W)

E= Iluminancia (lux), Tabla 5.7.



A= Área total iluminada (m²)

η =Eficacia luminosa (lm/W).

La ecuación (9) manifiesta que, conociéndose los luxes que requiere una vía, el área de la misma y la eficacia de las luminarias podemos conocer la potencia necesaria. Sabiendo esto se procede a calcular la potencia mínima para iluminar cada una de las vías de la ciudad y con ello la $DPEA_{min}$ mediante la siguiente expresión:

$$DPEA_{min} = \frac{\text{Carga total mínima conectada para alumbrado} \left(\frac{W}{m^2} \right)}{\text{Área total Iluminada}} \quad (10)$$

5.3 ANÁLISIS DE LA DPEA E ILUMINANCIA

En este punto se procede a identificar las vías que cumplen con los valores de la máxima densidad de potencia establecidas en el RETILAP, cabe recalcar que sólo las vías con velocidades de circulación menor o igual a 60 Km/h son analizadas bajo el criterio de la DPEA. El resto de vías se analizan con el criterio de la EER.

La Tabla 2.8 permite obtener el valor máximo de la DPEA, en función del ancho y el nivel de iluminancia de la vía. Los valores de la DPEA calculados para las vías de la ciudad deben de ser menores a los obtenidos con la Tabla 2.8 para que se cumpla el criterio de eficiencia energética.

Por ejemplo, la Calle Doce de Abril tiene un ancho de 8 m; este valor pertenece a la columna B de la Tabla 5.9, además el valor de iluminancia requerido para esta vía es de 23 lux, estos dos parámetros sugieren una DPEA máxima de 1.6 W/m², comparando este valor con el 1.30 W/m² calculado en el Capítulo 4 se concluye que esta vía cumple con el criterio de eficiencia energética.

En la Tabla 5.10 se aprecia el análisis de la DPEA para 10 vías de la ciudad, el análisis del resto de vías se encuentra en el Anexo 3.

Tabla 5.10. Verificación de la norma.

Nombre	DPEA (W/m ²)	Ancho (m ²)	Lux	DPEA Norma (W/m ²)	Cumple
Bolivia	1,36	6,3	12	0,86	NO
De Las Américas	0,78	11,5	23	1,41	SI
Diez De Agosto	1,02	7,4	23	1,6	SI
Doce De Abril	1,30	8,0	23	1,6	SI
Don Bosco	1,36	12,2	23	1,33	NO

Huayna Cápac	1,31	6,0	23	1,41	SI
Padre Aguirre	0,90	7,8	12	0,86	NO
Remigio Crespo Toral	0,98	7,9	23	1,6	SI
Remigio Tamariz Crespo	0,67	9,8	18	1,2	SI
Unidad Nacional	1,33	7,3	23	1,6	SI

Las vías de la ciudad de Cuenca se dividen en tres grandes grupos que son: avenidas, calles y retornos. A continuación, se presenta los resultados del análisis de la eficiencia energética para cada uno de ellos.

Avenidas: La ciudad de Cuenca cuenta con 55 avenidas de las cuales el 9% de ellas estarían superando los valores establecidos en la norma: Máxima densidad de potencia eléctrica para sistemas de alumbrado público (Tabla 2.8), estas avenidas en su mayoría están conformadas por luminarias de 250W de sodio de doble nivel de potencia y con una clase de iluminación M3, por otra parte, las avenidas que cumplen con la norma tiene una clase de iluminación M2 y M3. En la Figura 5.5 de observa la distribución porcentual de las avenidas que estarían cumpliendo y no con los requerimientos de la norma.



Figura 5.5. Avenidas de la ciudad de Cuenca que cumplen con el criterio de eficiencia energética.

El 91% de avenidas que cumplirían con el criterio de eficiencia energética también se encontrarían correctamente iluminadas, esto se puede ver en el anexo 3.1. Este porcentaje podría incrementarse si se considera la potencia menor de las lámparas de doble nivel de potencia.

Existen avenidas que requieren una mayor iluminación debido a la presencia de locales comerciales, lugares inseguros, parques, plazas y zonas de afluencia turística; dando lugar a una DPEA superior a la establecida en la Tabla 2.8.

Calles: De las 1820 calles que pertenecen a la red vial de la ciudad, el 32% de ellas no estarían cumpliendo los valores de la norma de máxima densidad de potencia, Figura 5.6. Las calles que no estarían cumpliendo con la norma

tienen una clase de iluminación M4 y poseen luminarias de sodio (Na) y una potencia de consumo de 250 W, 150W y 100W. Las calles que estarían cumpliendo con la norma tienen una clase de iluminación M3 y M4.

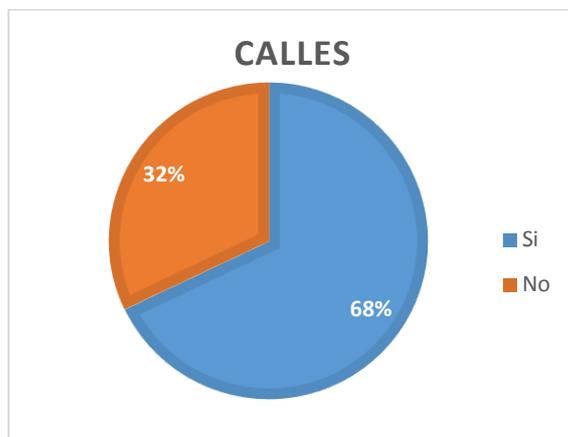


Figura 5.6 Calles de la ciudad de Cuenca que cumplen con el criterio de eficiencia energética

En lo referente a la iluminación, del 68% de las calles que cumplirían con la norma el 2% estarían mal iluminadas y el 66% restante estarían bien iluminadas. El 32% de calles estarían sobreiluminadas, sin embargo pueden existir calles que requieren una mayor iluminación debido a que presentan características similares al de las avenidas.

Retornos: En la ciudad de Cuenca existen 582 vías catalogadas como retornos, de los cuales el 45% no estarían cumpliendo con el requerimiento de la norma referente a la máxima densidad de potencia, la gran parte de retornos tiene una clase de iluminación M4. En la Figura 5.7 se observa la distribución porcentual de los retornos que cumplirían e incumplirían con la norma.



Figura 5.7 Retornos de la ciudad de Cuenca que cumplen con el criterio de eficiencia energética.



El 45% de los retornos no cumplirían con el criterio de eficiencia energética de la norma y se encontrarían sobreiluminados; por otra parte el 54% de retornos que cumplirían con la norma tendrían una buena iluminación y el 1% restante estarían mal iluminadas, anexo 3.3.

5.4 ANÁLISIS DEL EER

En este punto se analiza la eficiencia energética de las vías que poseen una velocidad de circulación superior a los 60 Km/h. El cálculo del EER se realiza en base a la potencia activa de la luminaria, la luminancia del área iluminada y el área iluminada. En el capítulo 4 se calculó la potencia y el área iluminada, mientras que en el punto 5.1.4 se determinó en valor de luminancia requerido por calles tipo M1.

En la Tabla 5.11 se observa el cálculo de la EER para las vías de la ciudad de Cuenca.

Tabla 5.11. Cálculo de EER para vías de la ciudad de Cuenca.

Cálculo del EER				
Nombre	Potencia (W)	Área (m ²)	Luminancia (cd/m ²)	EER (W/cd)
Circunvalación Sur	209375	380570	2	0,28
Enrique Arizaga Toral	16400	17012,1	2	0,48
Panamericana Norte	63229	71466,2	2	0,44
Panamericana Sur	28357	19784,5	2	0,72

Conocidos los valores de EER, se procede a verificar si se estaría cumpliendo con el valor máximo establecido en el RETILAP que es 0.8 W/cd. En la Tabla 5.12 se observa que todas vías analizadas bajo el criterio de la EER cumplirían con la norma.

Tabla 5.12. Análisis de la EER para vías de la ciudad de Cuenca.

Nombre	EER	EER Norma	Cumple
Circunvalación Sur	0,28	0,8	SI
Enrique Arizaga Toral	0,48	0,8	SI
Panamericana Norte	0,44	0,8	SI
Panamericana Sur	0,72	0,8	SI

5.4.1 Análisis de iluminación de un tramo de la autopista Cuenca – Azogues

Dada la importancia de la autopista Cuenca – Azogues, en este punto se analiza los niveles de iluminación de un tramo de la misma, el tramo en estudio está comprendido por el redondel Doce de Octubre y la calle Puerto de Palos. Las características de la vía, así como las especificaciones de las luminarias empleadas se detallan en la Tabla 5.13.



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Tabla 5.13. Características de un tramo de la autopista Cuenca – Azogues.

Características	
Número de carriles	3
Ancho de la calzada	11.45 m
Velocidad de circulación	90 km/h
Descripción de luminaria	240 V, Na, 250 W, en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C
Disposición de luminarias	Tresbolillo
Tipo de superficie de la calzada	Asfalto
Clase de iluminancia	M1

Conocidas las características del tramo se procede a analizar los niveles de iluminancia para ello se compara los valores obtenidos por mediciones de campo, extraídos de la tesis “MAPA LUMÍNICO DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA” y valores de diseño.

Tabla 5.14. Niveles de iluminancia.

Iluminancia promedio (Según la clase de iluminancia)	Iluminancia promedio (según la zona)	Iluminancia promedio (Medida)
30	12.37	11.93

En la Tabla 5.14, se observa que la iluminancia promedio medida no difiere en forma significativa con la obtenida en la tesis; sin embargo, estos están por debajo de la Iluminancia promedio según la clase de iluminancia, lo cual indica una posible mal iluminación de la vía.

5.5 PROPUESTAS PARA EL AHORRO ENERGÉTICO

La CENTROSUR desde sus inicios ha evolucionado constantemente en la prestación de sus servicios, hasta convertirse en un referente a nivel nacional y de Latinoamérica por sus buenas prácticas ambientales y energéticas, motivo por el cual en este inciso se plantean una serie de alternativas de eficiencia energética para el servicio de alumbrado público de la ciudad de Cuenca que podrían servir para que la Empresa continúe siendo una de las mejores.

5.5.1 Desmontaje de alumbrado innecesario

En los párrafos anteriores se determinó la posible sobreiluminación de algunas calles de la ciudad, por lo que si se procede a desmontar todos los puntos de luz innecesarios se llegaría a un ahorro energético y económico debido a la eliminación de los costos de manteniendo. El cálculo del ahorro energético se lo obtiene a partir de la multiplicación de la potencia de los puntos de luz desmontados por las horas de funcionamiento.

Antes de proceder con esta medida se debe tener un estudio minucioso que determine las vías cuyos niveles de iluminancia estén por encima de los



establecidos en normas y analizar si las características o requerimientos especiales de las vías no son un factor preponderante para tener tales valores de iluminancia.

5.5.2 Disminución de la potencia instalada

En la ciudad existen vías que poseen lámparas con potencias superiores a las recomendadas en las normas, la sustitución de éstas por lámparas de menor potencia generaría un ahorro energético y económico, sin embargo existen vías con características especiales que requieren luminarias con potencias mayores a las necesarias, debido a requerimientos de seguridad, presencia de locales comerciales, ornamentación, etc., siendo necesario realizar estudios para determinar aquellas vías en donde una mayor potencia de las luminarias está justificado.

El cálculo del ahorro energético se realiza igual que en el apartado anterior, es decir, una vez calculada la disminución de potencia de la instalación se multiplica por las horas de funcionamiento del alumbrado.

5.5.3 Sustitución de luminarias actuales por luminarias de tecnología Led

La tecnología Led tiene 65 años de haber salido al mercado, sin embargo posee una importante penetración en los mercados debido a sus prestaciones energéticas y a su notable reducción de los costos de operación y mantenimiento, sin embargo aún no ha alcanzado un estado de madures total debido a que todavía presenta ciertas desventajas, que en varios casos no hacen viable la implementación de esta tecnología.

Las desventajas más importantes que se pueden citar de la tecnología Led son[26]:

- Requerimientos de fuentes de alimentación de corriente continua, lo cual eleva su precio.
- Necesidad de filtros para reducir la presencia de armónicos los cuales son generados por ser dispositivos semiconductores.
- Sensibilidad al calor y a las conexiones e instalaciones mal realizadas.
- Ángulo y dirección de iluminación estrecho, siendo necesario la presencia de lentes reflectores para ampliar el haz de luz emitido.
- Dificultad de mantenimiento, debido a que cuando se daña un Led o varios, no es posible su cambio, siendo necesario el remplazar toda la fila de Leds.
- La eficacia de la luz blanca todavía es inferior a las fuentes de descarga.

Se espera que en los próximos años el desarrollo de las tecnologías permita eliminar o aminorar las desventajas de la tecnología Led y que termine por



convertirse en una de las mejores alternativas para lograr una eficiencia energética.

Los criterios que se deben de considerar antes de realizar la sustitución de una tecnología por otra son[27]:

- Criterios técnicos en cuanto al nivel de iluminación, uniformidad y deslumbramiento.
- Eficiencia energética.
- Solución más económica.

5.5.4 Implementación de un sistema de telegestión

“La telegestión es un conjunto de productos basados en las tecnologías informáticas, electrónicas y de telecomunicaciones que permiten el control a distancia de instalaciones técnicas aisladas o distribuidas geográficamente”[28]. Esta tecnología proporciona una serie de beneficios encaminados al ahorro energético, la reducción de los costos de mantenimiento y a mejorar la fiabilidad de la iluminación.

El establecimiento de un sistema de telegestión permite[27]:

- Vigilar la situación de encendido o apagado de cada punto.
- Conocer el estado de cada punto de luz en cuanto a sus características eléctricas y fotométricas.
- La regulación del flujo luminoso de todos los puntos de luz al nivel deseado, de forma individual o colectiva.
- Tener información del estado de cada lámpara y de los fallos.
- Conocer la antigüedad de cada lámpara para realizar la sustitución masiva.
- Realizar el encendido y apagado de la instalación y la sincronización horaria.

Los ahorros energéticos vienen dados por[27]:

- **Ahorro por reducción del flujo:** este sistema permite reducir la potencia y en consecuencia el flujo luminoso de cada lámpara o un grupo de lámparas mediante un software apropiado, esto es ideal para las horas nocturnas de menor actividad en donde se puede reducir los niveles luminosos sin afectar los factores de uniformidad, seguridad y confort.
- **Ahorro de energía por desconexión de lámparas en caso de fallas:** al producirse una falla en una lámpara se procede a su desconexión, haciendo que ésta deje de consumir energía.
- **Potencia virtual:** este sistema permite adaptar la potencia eléctrica a nuestras necesidades, lo cual es de gran ayuda cuando no se encuentra



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



en el mercado lámparas de una potencia específica, obligando a adquirir luminarias de una potencia mayor con lo que inevitablemente se produce una sobreiluminación.

Cabe indicar que la viabilidad de las medidas propuestas dependen de un estudio técnico – económico que contemplen los aspectos negativos y posibles beneficios de dichas alternativas.

Proyectos pilotos de telegestión

La CENTROSUR continuamente se encuentra analizando nuevos sistemas que le permitan brindar un sistema de calidad con el menor consumo energético es por ello que maneja sistemas pilotos con el afán de evaluar la viabilidad de los mismos. En cuanto a los planes piloto relacionados con la telegestión del sistema de alumbrado público se tiene los siguientes trabajos “PLAN PILOTO DE TELEGESTIÓN PARA EL CONTROL DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA VÍA CUENCA-DESCANSO” y “EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ALUMBRADO PÚBLICO DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA: TELEGESTIÓN Y SUSTITUCIÓN DE LUMINARIAS” en donde se determinó la factibilidad técnica y económica de los sistemas, debido a ahorros energéticos entre el 45% y 60%, lo cual repercute de forma positiva en el funcionamiento del sistema de alumbrado público.



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Durante las diferentes fases de investigación y análisis del presente Trabajo de Titulación se han obtenido las siguientes conclusiones:

- La demanda de energía del sistema de alumbrado público en el Ecuador en el año 2015 representó el 5.71% de toda la demanda energética del país, por lo que el gasto económico y energético de esta cifra es lo suficientemente cuantioso para que se realicen estudios que permitan alcanzar un uso óptimo de la energía y una menor cantidad de emisiones de CO₂ a la atmósfera.
- Todo sistema de alumbrado público debe garantizar un adecuado nivel de visibilidad para el desarrollo normal de actividades peatonales y vehiculares, sin dejar a un lado los criterios de calidad, seguridad, eficiencia y ahorro energético.
- La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) mediante la Regulación 005/2014 “Prestación del Servicio de Alumbrado Público General” define parámetros de continuidad que toda empresa de Distribución dedicada a la prestación de este servicio debe de cumplir. Los parámetros de continuidad analizados en este trabajo son cumplidos a cabalidad por la Empresa Regional Centro Sur C.A.
- La CENTROSUR es una empresa referente a nivel del país por sus buenas prácticas energéticas, mismas que están encaminadas a obtener un uso eficiente y adecuado de la energía mediante el empleo de luminarias de doble nivel de potencia, sustitución de luminarias de simple nivel de potencia por luminarias de doble nivel de potencia, adquisición de materiales que cumplan estándares de calidad, restricción horaria para canchas deportivas y alumbrado ornamental, etc.
- Del total de luminarias utilizadas en el alumbrado vial de la ciudad de Cuenca el 91% son de Sodio de alta presión, el 9% restante corresponde a otros tipos de tecnología tales como LED y Mercurio de alta presión, aunque esta última de a poco ha ido perdiendo participación en el sistema de iluminación de la ciudad debido a que contienen sustancias contaminantes y una reducida eficiencia.
- Los indicadores: Clientes residenciales sobre luminarias instaladas [CR/Li] y Potencia instalada en el sistema de alumbrado público sobre el número de clientes residenciales [WAP/CR] nos indican el grado de expansión que tiene el alumbrado público dentro de una ciudad o país,



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



sin embargo estos indicadores son muy generales debido a que no toman en consideración los requerimientos o necesidades de una vía de acuerdo sus características, de ahí la importancia de la DPEA el cual es un indicador que toma las características de cada vía para determinar si poseen un uso adecuado de la energía.

- La red vial de la ciudad de Cuenca está compuesta por avenidas, calles y retornos, cada una de ellas poseen características marcadas que hacen que los requerimientos fotométricos sean diferentes para cada una de ellas.
- Una DPEA que cumple con los valores estipulados en la norma no garantiza un nivel adecuado de iluminancia debido a que se puede tener una apropiada DPEA y un bajo nivel de iluminación o una adecuada DPEA y una correcta iluminación siendo necesario establecer una densidad de potencia mínima para saber el escenario existente tal como se ha propuesto en este trabajo.
- Una densidad de potencia superior a la máxima establecida en la norma ocasiona que la vía en estudio este sobreiluminada y tenga un probable mal uso de la energía, sin embargo existen vías con requerimientos especiales que demandan la instalación de luminarias con potencias superiores a las requeridas para sus características.
- La ciudad de Cuenca posee 55 vías catalogadas con avenidas, el 9% de ellas estarían superando los valores máximos de densidad de potencia, por otro lado, el 91% de las avenidas estarían con un adecuado uso de la energía y disponen de una correcta iluminación, lo cual es de gran importancia ya que se tratan de vías con una importante presencia de vehículos y peatones.
- La red vial de la ciudad tiene 1820 calles; el 68% tendrían valores de DPEA permitidos por la norma, existiendo un 66% de calles bien iluminadas y 2% mal iluminadas, el 32% estarían superando los valores de la DPEA de la norma.
- En la ciudad de Cuenca existen 582 vías catalogadas como retornos, de ellos el 45% no estarían cumpliendo con el criterio de eficiencia energética. Del 55% de retornos que estarían cumpliendo con el criterio de la DPEA tan solo el 1% no cumplirían con los parámetros mínimos de iluminación establecidos en la regulación 005/2014 del ARCONEL.
- Una DPEA superior a la establecida en la norma de algunas vías de la ciudad se debe a requerimientos especiales tales como: seguridad, ornamentación, desarrollo de actividades nocturnas y presencia de locales comerciales.



- Los valores de iluminancia de una vía pueden reducirse con el paso de los años, debido al deterioro de los componentes de la luminaria, esto puede evitarse con una adecuada gestión del mantenimiento del alumbrado público.
- Las propuestas para el ahorro energético además de que generaría un ahorro económico y una reducción de las emisiones de CO₂ a la atmosfera ayudarían al cumplimiento de la norma; sin embargo, se deja a futuras investigaciones el análisis a profundidad de las ventajas y desventajas que puede traer dichas alternativas.

Recomendaciones

Tras finalizar el presente estudio, a continuación se exponen un conjunto de recomendaciones que merecen mayor análisis y que complementarían varios aspectos evidenciados durante el desarrollo del Trabajo de titulación:

- Gestionar con el ARCONEL para que en la regulación de Alumbrado Público se incluya los máximos valores de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA).
- Las futuras investigaciones de la eficiencia energética en el alumbrado público deben estar enfocadas a disminuir el consumo de energía y potencia instalada, así como también a mejorar las prestaciones de este servicio hacia la comunidad.
- Las medidas que se tomen para mejorar la eficiencia energética del sistema de alumbrado público de la ciudad de Cuenca no deben afectar al sistema de distribución, adicionalmente deben contemplar los aspectos sociales y ambientales que estén inmersos en el tema.
- Las luminarias instaladas en las vías cuyos niveles de iluminación y DPEA no estén dentro de los valores estipulados en la norma, podrían ser sustituidas por luminarias tipo LED, no obstante, se deben realizar análisis previos que permitan determinar todas las bondades de esta tecnología y sus posibles aspectos negativos.
- Los valores de la DPEA deben ser actualizados cada vez que se presente una mejora o cambio de las luminarias instaladas en vías de la ciudad, con el afán de conocer si se emplea de forma racional y eficiente la energía.
- Expandir el cálculo de la densidad de potencia para el alumbrado público a toda la zona de concesión de la CENTROSUR, pudiéndose iniciar por la parte rural del cantón Cuenca y luego proceder con el resto de zonas, con esto se lograría conocer si las medidas adoptadas por la



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



CENTROSUR para tener un uso eficiente de la energía son las correctas.

- Para las vías que estén mal iluminadas se recomienda incrementar los niveles de iluminancia hasta alcanzar los niveles recomendados en la Regulación 005/14, teniendo presente no rebasar los máximos niveles de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado.
- Debido al notable desarrollo y desempeño lumínico de las tecnologías asociadas con Leds se recomienda continuar con el seguimiento y evaluación de las mismas, ya que en un futuro estas podrían superar en todos los aspectos a las actuales tecnologías.
- Los sistemas de telegestión tienen un gran potencial debido a las múltiples ventajas que presentan, este hecho se ha demostrado por los planes piloto puestos en marcha por la CENTROSUR, por lo que se recomienda la diversificación de esta tecnología y continuar con el estudio de la misma para lograr un mayor control dinámico de las variables presentes en el alumbrado público.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] ICONTEC, «NORMA TÉCNICA COLOMBIANA,» de *REGLAS GENERALES Y ESPECIFICACIONES PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO*, Bogotá, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2006.
- [2] E. d. E. d. B. S. E.S.P, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público 'RETILAP',» de *RETILAP*, Bogota, 2010.
- [3] ARCONEL, «REGULACIÓN No. 005/14,» 2014.
- [4] ARCONEL, «Regulacion 005/14,» Quito, 2014.
- [5] L. C. F. Giovani Pulla Galindo, «Vías iluminadas en la zona urbana del cantón Cuenca,» Cuenca, 2015.
- [6] M. S. B. MESA, «PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA “LED” PARA LA ILUMINACION PÚBLICA EN ANTIOQUIA,» 2009.
- [7] J. V. Prado, «SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO,» Santiago de Chile, 2014.
- [8] S. L. Arias, «ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO,» Universidad Nacional de Colombia , 2015.
- [9] A. d. R. y. C. d. E. -. M. d. E. y. E. Renovable, «Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» 2012.
- [10] A. D. R. Y. C. D. ELECTRICIDAD, «Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» Quito, 2015.
- [11] J. L. E. Manuel Samaniego, «Energías Renovables en el Ecuador, Situación Actual, Tendencias y Perspectivas,» Cuenca, 2015, p. 240.
- [12] I. M. d. Cuenca, «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca,» Cuenca, 2015.
- [13] D. D. S. G. D. DISTRIBUCIÓN, *Informe del Alumbrado Público*, Cuenca, 2016.
- [14] A. Funciona. [En línea]. Available: http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_incandesc/af_incandesc_1.htm. [Último acceso: 30 08 2016].



**CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA –
EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR**



- [15] S. L. Arias, *ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO*, Bogota: Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [16] I. G. S. P. Galindo, *EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE CUENCA*, Cuenca , 2013.
- [17] «AVANCE,» 08 2014. [En línea]. Available: <http://www.revistavance.com/reportajes-reportajes-agosto-2014/los-guandos-trajeron-la-electricidad-hace-un-siglo.html>. [Último acceso: 20 08 2016].
- [18] M. R. Arpi, «RESEÑA HISTÓRICA DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» Cuenca, 2016.
- [19] C. N. d. E. CONELEC, «Regulación No CONELEC 008/11,» Quito, 2011.
- [20] I. G. P. Galindo, «Informe Anual Alumbrado Público 2015,» CENTROSUR, Cuenca, 2015.
- [21] E. E. R. C. S. C.A., «Recomendación y requerimientos técnicos para iluminación de vías públicas,» Cuenca, 2004.
- [22] D. d. A. y. S. G. d. D. (SIGADE), «Informe Mensual,» 2016, 2016.
- [23] CIER, «INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIOS EN EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» Uruguay, 2015.
- [24] I. N. d. E. E. y. E. Renovables, «Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables,» 2013. [En línea]. Available: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/06_02_LED_AP_EEP_Guayaquil1.pdf. [Último acceso: 04 04 2017].
- [25] M. d. I. y. E. y. Turismo, «Guía Técnica de aplicación: Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior,» Madrid.
- [26] I. P. G. Zúñi, *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL ECUADOR*, Cuenca: Universidad de Cuenca , 2015.
- [27] P. D. M. D. L. E. E. E. I. E. D. A. PÚBLICO, *Carlos de la Fuente Borreguero, Esther Guervós Sánchez*, Madrid: UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO, 2013.
- [28] R. González, «twenergy,» 08 02 2013. [En línea]. Available: <https://twenergy.com/a/la-telegestion-energetica-su-funcionamiento-y->



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR

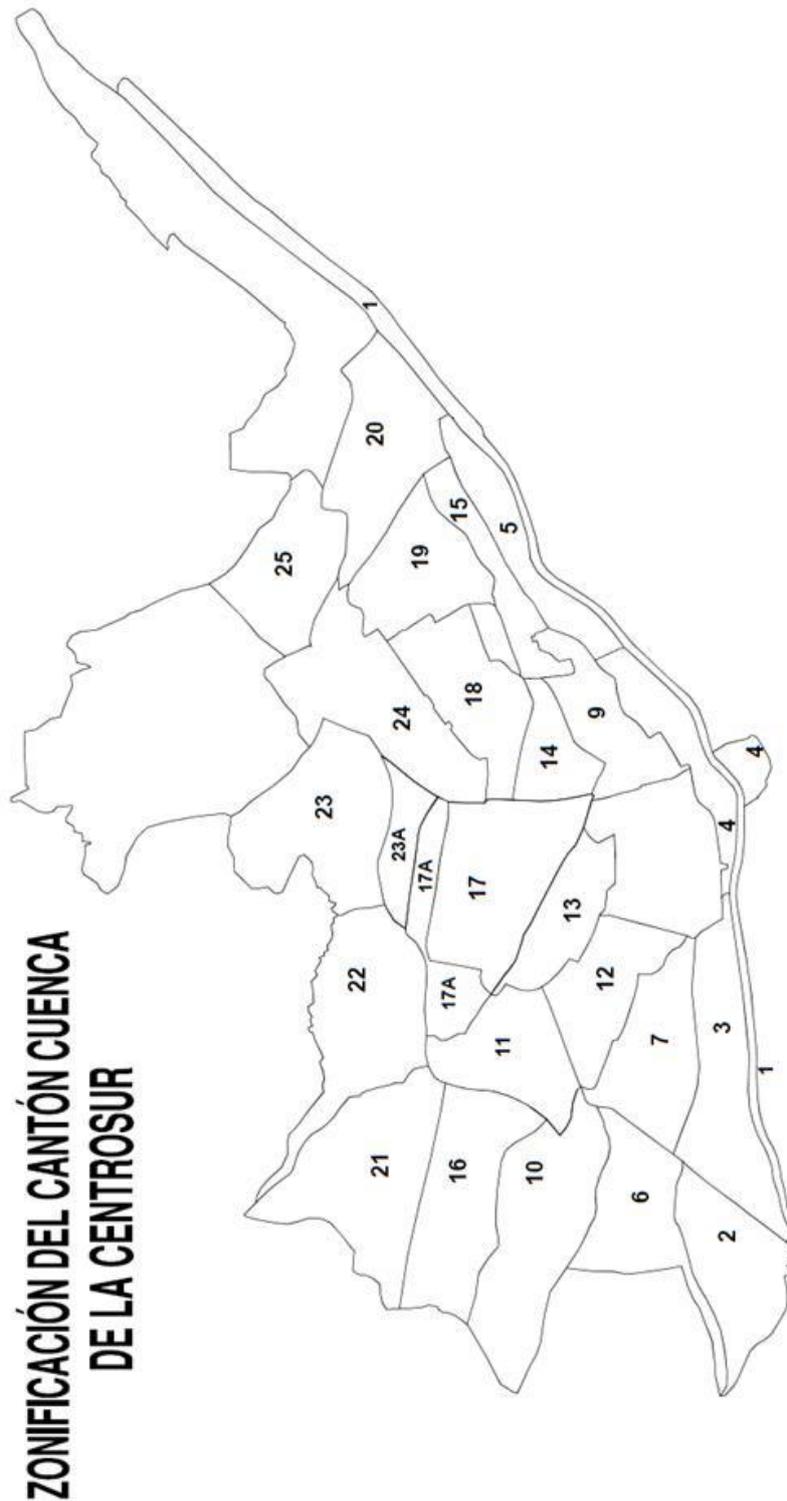


ventajas-750. [Último acceso: 05 1 2017].

- [29] ArcGIS. [En línea]. Available: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/analysis/clip.htm>. [Último acceso: 28 11 2016].
- [30] IDAE, «Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Alumbrado Público,» Madrid, 2001.

ANEXOS

Anexo 1. Plano de la zonificación del alumbrado público de la ciudad de Cuenca. [5]





CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Anexo 2. Catastro de luminarias por tipo de Cuenca[22]

Tipo de luminarias	Cantidad
Lum. 240 V Ornamental Na 70 W en poste Autocont. pot. cte.	262
Lum. 240 V Ornamental Na 150 W en poste Autocont. pot. cte.	406
Lum. 240 V Ornamental Hg 125 W en poste Autocont. pot. cte.	75
Lum. 240 V Ornamental Hg 175 W en poste Autocont. pot. cte.	56
Lum. 240 V Ornamental MH 70 W en poste Autocont. pot. cte.	18
Lum. 240 V Ornamental MH 100 W en poste Autocont. pot. cte.	103
Lum. 240 V Ornamental MH 150 W en poste Autocont. pot. cte.	80
Proy. 240 V Ornamental MH 70 W en piso Autocont. pot. cte.	62
Proy. 240 V Ornamental MH 100 W en piso Autocont. pot. cte.	26
Proy. 240 V Ornamental MH 150 W en piso Autocont. pot. cte.	114
Proy. 240 V Ornamental MH 250 W en piso Autocont. pot. cte.	32
Lum. 240 V Ornamental Na 100 W en poste Autocont. pot. cte.	26
Proy. 240 V Ornamental Na 150 W en piso Autocont. pot. cte.	10
Lum. 240 V Ornamental Led 60 W en poste Autocont. pot. cte.	51
Lum. 240 V Ornamental Hg 30 W en poste Autocont. pot. cte.	152
Lum. 240 V Ornamental Na 250 W en poste Autocont. pot. cte.	30
Lum. 240 V Ornamental MH 250 W en poste Hilo Piloto. pot. cte.	12
Proy. 240 V Ornamental Led 40 W en piso Hilo Piloto. pot. cte.	38
Lum. 240 V Hg 125 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. A	1
Lum. 240 V Hg 175 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. A	16
Lum. 240 V Hg 175 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. A	145
Lum. 240 V Hg 125 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	26
Lum. 240 V Hg 175 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	69
Lum. 240 V Hg 250 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	60
Lum. 240 V Hg 400 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	29
Lum. 240 V Hg 125 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	2
Lum. 240 V Hg 175 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	39
Lum. 240 V Hg 250 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. Cte. C	20
Lum. 240 V Hg 400 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	2
Lum. 240 V Na 70 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	95
Lum. 120 V Na 150 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	1
Lum. 240 V Na 100 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	447
Lum. 240 V Na 150 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	1055
Lum. 240 V Na 250 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	2295
Lum. 240 V Na 400 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	299
Lum. 240 V Na 70 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	253
Lum. 120 V Na 100 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	2
Lum. 120 V Na 150 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	6
Lum. 240 V Na 100 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	1061
Lum. 240V Na 150 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	2303



**CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA –
EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR**



Lum. 240V Na 250 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	1507
Lum. 240V Na 400 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	63
Lum. 240V Na 150 W en poste con red aérea hilo piloto Dob. niv. pot. C	3845
Lum. 240V Na 250 W en poste con red aérea hilo piloto Dob. niv. pot. C	4575
Lum. 240 V Na 400 W en poste con red aérea hilo piloto Dob.niv.pot. C	87
Lum. 240 V Na150 W en poste con red aérea Autocontrolada Dob.niv.pot. C	5279
Lum. 240 V Na250 W en poste con red aérea Autocontrolada Dob.niv.pot. C	7585
Lum. 240 V Na400 W en poste con red aérea Autocontrolada Dob.niv.pot. C	24
Lum. 120 V Na 150 W en poste con red subt hilo piloto pot. cte. C	3
Lum. 240 V Na 150 W en poste con red subt hilo piloto pot. cte. C	1
Lum. 240 V Na 250 W en poste con red subt hilo piloto pot. cte. C	1
Lum. 240 V Na150 W en poste con red subt Autocontrolada Dob.niv.pot. C	5
Lum. 240 V Na 250 W en fachada con red subt hilo piloto Dob.niv.pot. C	1
Lum. 240 V Na 250 W en fachada con red subt Autocont. Dob.niv.pot. C	2
Lum. 240 V Na 100 W en poste con red aérea Autocont. Dob.niv.pot C	149
Lum. 240 V Na 100 W en poste con red aérea hilo piloto. Dob.niv.pot C	43
PROYECTOR 240 V Hg 150 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	12
PROYECTOR 240 V Hg 500 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	6
PROYECTOR 240 V Hg 150 W en poste con red aérea Autocontrolado pot. cte. C	7
PROYECTOR 240 V Hg 1000 W en poste con red aérea Autocontrolado pot. cte. C	16
PROYECTOR 240 V Hg 150 W en fachada con red preen hilo piloto pot. cte. C	1
PROYECTOR 240 V Hg 500 W en fachada con red subt hilo piloto pot. cte. C	1
PROYECTOR 240 V Hg 100 W en fachada con red subt Autocontrolado pot. cte. C	2
PROYECTOR 240 V Hg 500 W en fachada con red subt Autocontrolado pot. cte. C	6
PROYECTOR 240 V Hg 400 W en poste con red aérea Autocontrolado pot. cte. C	26
PROYECTOR 240 V Na 150 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	62
PROYECTOR 240 V Na 250 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	12
PROYECTOR 240 V Na 150 W en poste con red aérea Autocontrolado pot. cte. C	121
PROYECTOR 240 V Na 250 W en poste con red aérea Autocontrolado pot. cte. C	127
PROYECTOR 240 V Na 400 W en poste con red aérea Autocontrolado pot. cte. C	120
PROYECTOR 240 V Na 500 W en fachada con red subt Autocontrolado pot. cte. C	593



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA –
EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



PROYECTOR 240 V Na 500 W en fachada con red subt hilo piloto pot. cte. C	470
PROYECTOR 240 V Na 1000 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	9
PROYECTOR 240 V Na 400 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	4
PROYECTOR 240 V Na 400 W en poste con red aérea Autocontrolado Dob.niv.pot C	38
Lum. 240 V Na 150 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. A	18
Lum. 240 V Na 150 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. A	2
Lum. 240 V Na 70 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. A	5
Lum. 240 V Led 3.6 W en poste con red aérea hilo piloto pot. cte. C	346
Lum. 240 V Led 180 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	55
Lum. 240 V Led 180 W en poste con red preen Autocont. pot. cte. C	10
Lum. 240 V Led 100 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	16
Lum. 240 V Led 10 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	17
Lum. 240 V Led 15 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	279
Lum. 240 V Led 20 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	48
Lum. 240 V Led 25 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	57
Lum. 240 V Led 30 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	14
Lum. 240 V Led 50 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	39
Lum. 240 V Led 5 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	26
Lum. 240 V Led 70 W en poste con red aérea Autocontrolada pot. cte. C	39
Total	35553



Anexo3. Parámetros para el cálculo de la DPEA. Resultados del análisis de la DPEA para las vías de la parte urbana de la ciudad de Cuenca.

Anexo3.1 Parámetros, cálculo del DPEA y verificación de la norma de las avenidas

DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA													
Nombre	Potencia W	Area (m ²)	DPEA W/m ²	Velocidad	Clase de Via	Ancho	Lux	DPEA Norma	Cumple	Dpea Min	Iluminacion		
Abelardo J. Andrade	41965	33556	1,25	50	M2	12,4	23	1,33	SI	0,41	Bien Iluminado		
Amazonas	4802	6031	0,79	30	M3	10,8	18	1,1	SI	0,32	Bien Iluminado		
Carlos Arizaga Vega	23701	24034	0,98	40	M2	11,1	23	1,41	SI	0,41	Bien Iluminado		
Cumanda	11452	12424	0,92	30	M3	8,9	18	1,2	SI	0,32	Bien Iluminado		
De Las Americas	208745	267567	0,78	50	M2	11,5	23	1,41	SI	0,41	Bien Iluminado		
De Los Campeones	17717	20697	0,85	40	M2	9,3	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
De Los Migrantes	5967	15632	0,38	30	M3	12,4	18	1,04	SI	0,32	Bien Iluminado		
Del Altiplano	12838	12577	1,02	30	M3	11,2	18	1,1	SI	0,32	Bien Iluminado		
Del Chofer	17292	9847	1,75	30	M3	8,3	18	1,2	NO	0,32	Sobre iluminado		
Del Condor	9582	9669	0,99	30	M3	14,4	18	1,04	SI	0,32	Bien Iluminado		
Del Estadio	4192	11008	0,38	30	M3	17,7	18	1,04	SI	0,32	Bien Iluminado		
Del Toril	12337	20906	0,59	50	M2	8,0	23	1,6	SI	0,41	Bien Iluminado		
Diez De Agosto	61586	60178	1,02	40	M2	7,4	23	1,6	SI	0,41	Bien Iluminado		
Doce De Abril	79968	61393	1,30	40	M2	8,0	23	1,6	SI	0,41	Bien Iluminado		
Doce De Octubre	41268	37230	1,10	40	M2	9,9	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
Don Bosco	49589	36445	1,36	40	M2	12,2	23	1,33	NO	0,41	Sobre iluminado		
Elia Liut	2876	3981	0,72	30	M3	12,4	18	1,04	SI	0,32	Bien Iluminado		
España	66866	52088	1,28	40	M2	8,2	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
Felipe II	14664	15744	0,93	40	M2	8,4	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
Florencia Astudillo	9811	8472	1,15	30	M3	9,0	18	1,2	SI	0,32	Bien Iluminado		
Francisco Moscoso	7736	8324	0,92	30	M3	8,6	18	1,2	SI	0,32	Bien Iluminado		
Fray Vicente Solano	63119	51855	1,21	40	M2	9,1	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
Gapal	3994	7113	0,56	40	M2	12,1	23	1,33	SI	0,41	Bien Iluminado		
General Escandon	9685	13673	0,70	40	M2	10,1	23	1,41	SI	0,41	Bien Iluminado		
Gil Ramirez Davalos	38373	30203	1,27	40	M2	9,1	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
Gonzalez Suarez	77738	69280	1,12	40	M2	8,2	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
Gran Colombia	13437	10001	1,34	30	M3	8,1	18	1,2	NO	0,32	Sobre iluminado		
Guapondelig	3556	3930	0,90	30	M3	9,9	18	1,2	SI	0,32	Bien Iluminado		
Héroes De Verdeloma	22892	28714	0,79	40	M2	8,4	23	1,53	SI	0,41	Bien Iluminado		
Huayna Capac	36334	27609	1,31	40	M2	6,0	23	1,41	SI	0,41	Bien Iluminado		



CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



La figura anterior muestra los parámetros, cálculo de la DPEA y la verificación de la norma de una parte de las avenidas. A continuación, se muestra los resultados de la verificación de la norma y el estado de iluminación de todas las avenidas de la ciudad de Cuenca.

Avenidas		
	Cumplimiento de la norma	
Total	Si	No
55	50	5



Iluminación_Avenidas		
Bien	Sobre	Mal
50	5	0





CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA –
EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Anexo 3.2 Parámetros, cálculo del DPEA y verificación de la norma de las calles

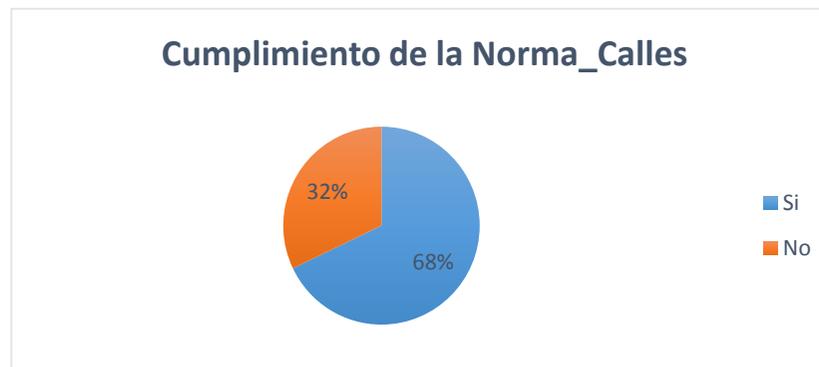
DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA												
Nombre	Potencia W	Area (m ²)	DPEA W/m ²	Velocidad	Clase de Vía	Ancho m	Lux	DPEA Norma	Cumple	Dpea Min	Iluminacion	
Abdon Calderon	1572	1934	0,81	30	M3	7,725	18	1,26	SI	0,32	Bien	
Abelardo Montalvo	1141	1568	0,73	10	M4	8,800	12	0,81	SI	0,21	Bien	
Abelardo Ortega	489	705	0,69	20	M4	7,150	12	0,86	SI	0,21	Bien	
Abraham Sarmiento	3994	4591	0,87	20	M4	9,250	12	0,81	NO	0,21	Sobre	
Aconcagua	1304	1528	0,85	20	M4	6,693	12	0,86	SI	0,21	Bien	
Adolfo Peralta Vasquez	1141	1402	0,81	30	M3	7,350	18	1,26	SI	0,32	Bien	
Adolfo Serrano	163	324	0,50	20	M4	7,000	12	0,86	SI	0,21	Bien	
Adolfo Torres	2119	3354	0,63	20	M4	8,950	12	0,81	SI	0,21	Bien	
Adriano Del Valle	489	533	0,92	20	M4	6,250	12	0,86	NO	0,21	Sobre	
Agustin Cuesta	1735	1645	1,05	20	M4	14,750	12	0,69	NO	0,21	Sobre	
Agustin Cueva Vallejo	15538	13509	1,15	30	M3	10,075	18	1,1	NO	0,32	Sobre	
Agustin Sanchez	326	1237	0,26	20	M4	8,400	12	0,81	SI	0,21	Bien	
Alberto Coloma Silva	345	729	0,47	20	M4	7,200	12	0,86	SI	0,21	Bien	
Alberto Coronel O.	489	542	0,90	10	M4	6,500	12	0,86	NO	0,21	Sobre	
Alberto Einstein	441	168	2,62	20	M4	2,700	12	0,91	NO	0,21	Sobre	
Alberto Guerrero Martinez	1962	1990	0,99	20	M4	9,600	12	0,81	NO	0,21	Sobre	
Alberto Maria Andrade	1141	2374	0,48	20	M4	8,700	12	0,81	SI	0,21	Bien	
Alberto Muñoz Vernaza	2013	1962	1,03	20	M4	6,733	12	0,86	NO	0,21	Sobre	
Alberto Palacios	1048	759	1,38	20	M4	6,750	12	0,86	NO	0,21	Sobre	
Alejandro Andrade	1304	2186	0,60	20	M4	9,000	12	0,81	SI	0,21	Bien	
Alejandro Carrion	326	500	0,65	20	M4	6,200	12	0,86	SI	0,21	Bien	
Alejandro Vega Toral	489	535	0,91	20	M4	6,520	12	0,86	NO	0,21	Sobre	
Alejandro Volta	1793	3111	0,58	30	M3	7,443	18	1,26	SI	0,32	Bien	
Alejandro Volta	1793	3111	0,58	30	M3	7,443	18	1,26	SI	0,32	Bien	
Alexander Fleming	978	1061	0,92	20	M4	5,230	12	0,91	NO	0,21	Sobre	
Alfonso Andrade Chiriboga	1572	1203	1,31	30	M3	7,033	18	1,26	NO	0,32	Sobre	
Alfonso Borrero	2154	5090	0,42	30	M3	11,000	18	1,1	SI	0,32	Bien	
Alfonso Cordero	3895	4452	0,87	30	M3	8,200	18	1,2	SI	0,32	Bien	
Alfonso Jerves	4617	4193	1,10	30	M3	7,150	18	1,26	SI	0,32	Bien	
Alfonso Malo R.	2882	2772	1,04	20	M4	6,775	12	0,86	NO	0,21	Sobre	
Alfonso Maria Mora	1304	1745	0,75	20	M4	9,300	12	0,81	SI	0,21	Bien	
Alfonso Moreno Mora	22660	21379	1,06	30	M3	11,310	18	1,1	SI	0,32	Bien	
Alfonso Rivera Novillo	2882	2146	1,34	30	M3	8,000	18	1,26	NO	0,32	Sobre	
Alfonso Sevilla Sanchez	751	1268	0,59	20	M4	9,800	12	0,81	SI	0,21	Bien	



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR

La figura anterior presenta los parámetros, cálculo de la DPEA y la verificación de la norma para 34 calles de las 1819 calles existentes en la ciudad, también se incluye los resultados de la verificación de la norma y el estado de iluminación de todas las calles de la ciudad de Cuenca.

Calles		
	Cumplimiento de la norma	
Total	Si	No
1819	1235	584



Iluminación_Calles		
Bien	Sobre	Mal
1199	584	36





CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA –
EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



Anexo 3.3 Parámetros, cálculo del DPEA y verificación de la norma de los retornos

DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE VÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA													
Nombre	Potencia W	Area (m ²)	DPEA W/m ²	Velocidad	Clase de Via	Ancho m	Lux	DPEA Norm	Cumple	Dpea Min	Iluminacion		
Agustin Cueva Tamariz	489	803	0,61	10	M4	9,7	12	0,81	SI	0,21	Bien		
Alejandro Onitchenko	326	618	0,53	20	M4	9,9	12	0,81	SI	0,21	Bien		
Alfonso Carrasco	786	737	1,07	10	M4	7,6	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Alfonso Moscoso A.	326	423	0,77	10	M4	6,3	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Alfonso Uriguen	489	462	1,06	10	M4	6,3	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Alfonso Vasquez Garces	326	706	0,46	10	M4	5,7	12	0,91	SI	0,21	Bien		
Alfonso X	652	937	0,70	10	M4	7,2	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Alfredo Baquerizo	326	513	0,64	20	M4	7,2	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Alicia Ordonez Landivar	652	1120	0,58	10	M4	7,0	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Alonso García De Orellana	489	536	0,91	10	M4	8,0	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Alonso De Zamora	652	1119	0,58	20	M4	9,8	12	0,81	SI	0,21	Bien		
Andalucia	326	332	0,98	10	M4	6,7	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Andres F. Cordova	588	531	1,11	10	M4	8,4	12	0,81	NO	0,21	Sobre		
Angel M. Iglesias	326	321	1,02	10	M4	4,6	12	0,91	NO	0,21	Sobre		
Antonio Carrillo Buenaño	652	1068	0,61	20	M4	7,7	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Antonio Mansilla	489	1031	0,47	10	M4	11,1	12	0,74	SI	0,21	Bien		
Antonio Moreno Ortiz	652	871	0,75	10	M4	7,9	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Antonio Bello Gayoso	326	289	1,13	10	M4	5,9	12	0,91	NO	0,21	Sobre		
Antonio Malo	489	754	0,65	10	M4	7,4	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Antonio Valdiviezo	524	338	1,55	20	M4	7,2	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Archidona	326	259	1,26	10	M4	5,2	12	0,91	NO	0,21	Sobre		
Arsenio Solano Mogrovejo	489	285	1,71	10	M4	3,7	12	0,91	NO	0,21	Sobre		
Arturo Cuesta Heredia	163	413	0,39	10	M4	7,9	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Arturo Montesinos Malo	588	513	1,15	10	M4	7,9	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Atenas	786	645	1,22	10	M4	7,0	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Aurelia Cordero	815	1175	0,69	10	M4	8,4	12	0,81	SI	0,21	Bien		
Aurelio Bayas Martínez	326	648	0,50	10	M4	6,7	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Bahamas	326	349	0,93	10	M4	6,4	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Baltazar Gracian	326	427	0,76	10	M4	6,1	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Barabon	652	640	1,02	20	M4	7,3	12	0,86	NO	0,21	Sobre		
Batallon Numancia	163	406	0,40	20	M4	6,4	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Benigno Astudillo Ochoa	652	1036	0,63	20	M4	9,7	12	0,81	SI	0,21	Bien		
Benjamín Cordero León	326	461	0,71	10	M4	6,7	12	0,86	SI	0,21	Bien		
Bilbao	326	399	0,82	10	M4	5,1	12	0,91	SI	0,21	Bien		

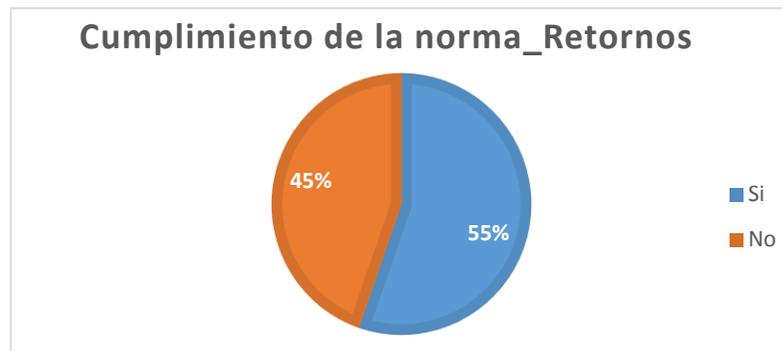


CONVENIO UNIVERSIDAD DE CUENCA – EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR



La figura anterior presenta los parámetros, cálculo de la DPEA y la verificación de la norma para 34 retornos de los 582 retornos existentes en la ciudad, también se incluye los resultados de la verificación de la norma y el estado de iluminación de todas las calles de la ciudad de Cuenca.

Retornos		
	Cumplimiento de la norma	
Total	Si	No
582	322	260



Iluminación_Retornos		
Bien	Sobre	Mal
316	260	6



Nota: La información correspondiente al cálculo de la DPEA y su respectivo análisis para todas las vías de la ciudad de Cuenca se encuentran en el Excel adjunto a este documento (Anexo 3).