



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN
LUMÍNICA EN UN POLÍGONO (O ÁREA) DEL SECTOR NORTE DE
LA CIUDAD DE QUITO DE ACUERDO A LA NORMATIVA DE
POLUCIÓN LUMÍNICA MUNDIAL – PROPUESTAS DE SOLUCIÓN”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA**

WILLAN FERMÍN SILVA SÁNCHEZ
willan.silva@epn.edu.ec

Dr. GABRIEL SALAZAR YÉPEZ
gabriel.salazar@epn.edu.ec

Quito, Octubre, 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **WILLAN FERMÍN SILVA SÁNCHEZ**, bajo mi supervisión.

Dr. Gabriel Salazar

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Willan Fermín Silva Sánchez**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Autor

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme las energías necesarias para saber superar los momentos difíciles y por las muchas alegrías que me ha dado en toda mi vida.

A mi esposa por haberme acompañado en mi camino estudiantil. A mis hijos, por brindarme bonitos momentos de ternura y cariño. A mis suegros, por cuidar a mi familia cuando yo estaba dedicado a mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A Papito Dios

Por bendecirme con una bonita familia, haberme llenado de salud y vida para cumplir mis sueños y objetivos.

A mis Padres

Luis y Victoria quienes me dieron el regalo de la vida y me enseñaron el valor del sacrificio para lograr mis anhelos.

A mi Esposa

Silvia Leonela que con su amor, paciencia, comprensión y bondad ha sido mi apoyo y mi refugio incondicional.

A mis hijos

David, Ariel y Santiago que con ternura y travesuras me han llenado de aliento para seguir adelante.

A mis profesores

Por brindarme sus conocimientos de manera ejemplar.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	i
DECLARACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	i
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Presentación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.2. Específicos	
1.4. Alcance	4
1.5. Estructura de los capítulos	6
1.6. Justificación del Proyecto	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Marco Teórico	9
2.2. Conceptos básicos	10
2.3. Luminarias para áreas exteriores	11
2.3.1. Características principales de las luminarias	
2.3.2. Intensidad emitida por ángulo de elevación.....	12
2.4. Fuentes de luz visible.....	13
2.4.1. Incandescentes.....	14
2.4.2. Lámparas de descarga	17
2.4.3. Lámparas LED	23
2.5. Tipos de contaminación luminosa	25
2.5.1. Brillo del cielo nocturno	
2.5.2. Deslumbramiento.....	25
2.5.3. Luz intrusa	26
2.5.4. Sobre iluminación.....	27
2.6. Fuentes de contaminación luminosa artificial	28

2.6.1.	Luces de vías y de automotores	28
2.6.2.	Anuncios publicitarios y centros comerciales	29
2.6.3.	Deportes nocturnos.....	30
2.6.4.	Parques, aeropuertos y lugares públicos.....	31
2.6.5.	Áreas residenciales	
2.6.6.	Fuentes de contaminación luminosa natural	32
2.6.7.	Aurora	
2.6.8.	Luminiscencia nocturna (Airglow)	
2.6.9.	Humedad	
2.6.10.	Erupciones volcánicas.....	33
2.6.11.	Luz zodiacal	
2.7.	Efectos de la polución lumínica	
2.7.1.	Desperdicio de recursos	
2.7.2.	Efectos astronómicos	
2.7.3.	Efectos en la salud del ser humano	34
2.7.4.	Fauna silvestre	
2.7.5.	Influencia de la luz en el crecimiento de las plantas.....	35
2.8.	Calificación energética	
2.8.1.	Instalaciones de alumbrado vial funcional	36
2.8.2.	Instalaciones de alumbrado vial ambiental	37
2.8.3.	Índice de Eficiencia Energética	
2.8.4.	Índice de Consumo Energético (ICE)	38
2.8.5.	Calificación energética de las instalaciones de alumbrado	
3.	LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL BAJO ESTUDIO	40
3.1.	Levantamiento del sistema actual bajo estudio	40
3.1.1.	Calle N57B Gabriel Araujo	44
3.1.2.	Calle N54 De Los Pinos	45
3.1.3.	Calle N53 Cap. Ramón Borja	
3.1.4.	Calle E3D Luis Banderas.....	46
3.1.5.	Calle E4 Diógenes Paredes.....	47
3.1.6.	Avenida N52 De Los Algarrobos	48
3.1.7.	Calle E2B Carlos Andrade Marín	
3.1.8.	Calle E2C Crisóstomo Castelli	49
3.1.9.	Calle N49 Aparicio Rivadeneira.....	50
4.	MEDICIÓN Y MAPEO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	51
4.1.	Medición y mapeo del nivel de contaminación lumínica.....	51

4.2.	Método de recolección de datos	52
4.3.	Medición de contaminación lumínica.....	55
4.4.	Medición de la iluminación promedio	59
4.5.	Calificación energética.....	60
5.	PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	69
5.1.	Propuestas de solución.....	69
5.1.1.	Revisión de regulaciones	
5.1.2.	Verificación de características de las luminarias	70
5.1.3.	Reducción de luces intrusas	72
5.1.4.	Consideraciones de diseño de alumbrado público	
5.1.5.	Selección de la correcta distribución luminosa	75
5.1.6.	Sustitución de luminarias	78
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
6.1.	Conclusiones.....	80
6.2.	Recomendaciones	80
6.3.	Trabajos futuros	81
	BIBLIOGRAFÍA	i
	ANEXOS.....	vi

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Luminaria sin control de emisión de flujo luminoso.	1
Figura 1.2. Dirección de la emisión de flujo luminoso.	2
Figura 1.3. Polución lumínica por porcentaje de población de los países de Sudamérica.	4
Figura 1.4. Polución lumínica por porcentaje de área de los países de Sudamérica.	5
Figura 1.5. Iluminación nocturna en la ciudad de Quito.	8
Figura 2.1. Iluminación nocturna en la Av. De La Prensa (Quito, Ecuador).	9
Figura 2.2. Iluminación exterior en la Av. América (Quito, Ecuador).	10
Figura 2.3. Clasificación de luminarias por ángulo de elevación.	13
Figura 2.4. Clasificación de fuentes luminosas.	14
Figura 2.5. Flujo de energía de una lámpara incandescente.	15
Figura 2.6. Distribución espectral de una lámpara incandescente.	15
Figura 2.7. Flujo de energía de una lámpara halógena.	16
Figura 2.8. Distribución espectral de una lámpara halógena.	16
Figura 2.9. Flujo de energía de una lámpara fluorescente lineal.	18
Figura 2.10. Distribución espectral de una lámpara fluorescente lineal.	18
Figura 2.11. Flujo de energía de una lámpara fluorescente compacta.	19
Figura 2.12. Distribución espectral de lámparas fluorescentes compactas.	19
Figura 2.13. Flujo de energía de una lámpara de sodio de baja presión.	20
Figura 2.14. Distribución espectral de lámparas de sodio de baja presión.	20
Figura 2.15. Flujo de energía de una lámpara de haluros metálicos.	21
Figura 2.16. Distribución espectral de lámparas de haluros metálicos.	22
Figura 2.17. Flujo de energía de una lámpara de sodio de alta presión.	23
Figura 2.18. Distribución espectral de lámparas de haluros metálicos.	23
Figura 2.19. Flujo de energía de una lámpara LED.	24
Figura 2.20. Distribución espectral de lámparas LED.	24
Figura 2.21. Cielo nocturno de la Ciudad de Quito, Ecuador.	25
Figura 2.22. Deslumbramiento en la calle Falconí en la ciudad de Quito, Ecuador.	26
Figura 2.23. Iluminación intrusa en la calle Domingo Segura de la Ciudad de Quito, Ecuador.	27
Figura 2.24. Mala ubicación de luminarias en Av. De La Prensa (Quito, Ecuador).	27
Figura 2.25. Luminaria Cut-off.	28
Figura 2.26. Iluminación de vías y automotores en la Av. La Prensa (Quito, Ecuador).	29
Figura 2.27. Anuncio publicitario en la Av. Mariana de Jesús, (Quito, Ecuador).	30
Figura 2.28. Iluminación de un centro deportivo en la Av. Amazonas, (Quito, Ecuador).	30
Figura 2.29. Iluminación del parque EPMAPS, (Quito, Ecuador).	31
Figura 2.30. Iluminación residencial Av. La Prensa, (Quito, Ecuador).	32
Figura 2.31. Patrón de iluminación circadiano (la línea roja señala el fotoperiodo natural).	34
Figura 2.32. Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado.	39
Figura 3.1. Niveles de radiancia.	40
Figura 3.2. Mapa de contaminación lumínica del Ecuador.	41
Figura 3.3. Contaminación luminosa de la ciudad de Quito.	42
Figura 3.4. Polígono seleccionado para medición de contaminación lumínica.	43
Figura 3.5. Calle N57B Gabriel Araujo.	44
Figura 3.6. Calle N54 De Los Pinos.	45
Figura 3.7. Calle N53 Cap. Ramón Borja.	46
Figura 3.8. Calle E3D Luis Banderas.	47
Figura 3.9. Calle E4 Diógenes Paredes.	47

Figura 3.10. Avenida N52 De Los Algarrobos.....	48
Figura 3.11. Calle E2B Carlos Andrade Marín.	49
Figura 3.12. Calle E2C Crisóstomo Castelli.....	50
Figura 3.13. Calle N49 Aparicio Rivadeneira.....	50
Figura 4.1. Medidor SQM.	51
Figura 4.2. Lente de medición del SQM-L.....	52
Figura 4.3. Rango de medición del SQM-L.....	53
Figura 4.4. Brillo del cielo en función del rango de medición del SQM-L.	53
Figura 4.5. Cono de medición del SQM-L.	54
Figura 4.6. Ubicación de SQM en el mundo.	55
Figura 4.7. Polígono seleccionado para la medición de contaminación lumínica.....	56
Figura 4.8. Polución lumínica en Ecuador de acuerdo al porcentaje de población.	58
Figura 4.9. Polución lumínica de acuerdo a la extensión de Ecuador.	58
Figura 4.10. Crecimiento Poblacional y Brillo del Cielo vs Tiempo.	59
Figura 4.11. Prueba de datos Calle N54 De Los Pinos.....	60
Figura 5.1. Luminaria ubicada en la calle N49 Aparicio Rivadeneira.	70
Figura 5.2. Tipos de luminarias para vías.....	71
Figura 5.3. Luminarias ornamentales en la calle E3D Luis Banderas.	71
Figura 5.4. Tipos de luz intrusa.....	72
Figura 5.5. Luminaria para alumbrado público tipo horizontal cerrada 150 – 250 W.	73
Figura 5.6. Luminarias para alumbrado público 150 W - 250 W.....	74
Figura 5.7. Distribución lateral.	75
Figura 5.8. Distribución lateral y vertical, en la figura se observa una luminaria con distribución media y tipo III.	77
Figura 5.9. Tipos de luminarias utilizadas en alumbrado público.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Área seleccionada	6
Tabla 2.1. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional.	36
Tabla 2.2. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental.	37
Tabla 2.3. Valores de eficiencia energética de referencia.	38
Tabla 2.4. Calificación energética de una instalación de alumbrado.	39
Tabla 3.1. Zona de contaminación lumínica de la Ciudad de Quito.	42
Tabla 3.2. Polígono seleccionado para medición de contaminación lumínica.	43
Tabla 3.3. Calles y avenidas para medición de contaminación lumínica.	44
Tabla 4.1. Calles y avenidas seleccionadas.	57
Tabla 4.2. Medición de contaminación el día 25 de Mayo de 2017.	57
Tabla 4.3. Medición de contaminación el día 26 de Mayo de 2017.	57
Tabla 4.4. Iluminación promedio.	60
Tabla 4.5. Clasificación de las vías.	61
Tabla 4.6. Clase de alumbrado para vías.	62
Tabla 4.7. Niveles de luminancia e iluminancia.	63
Tabla 4.8. Niveles de iluminación medidos.	63
Tabla 4.9. Verificación de factor de uniformidad (U_0).	64
Tabla 4.10. Determinación de factor de uniformidad longitudinal (UI).	64
Tabla 4.11. Dimensiones de las avenidas intervenidas.	65
Tabla 4.12. Número de Luminarias.	66
Tabla 4.13. Potencia Instalada en las vías.	66
Tabla 4.14. Tipo de instalación de la vía.	67
Tabla 4.15. Calificación energética de las vías.	68
Tabla 5.1. Eficacia y tiempo de vida útil de luminarias.	73
Tabla 5.2. Tipos de luminarias instaladas en las vías en estudio.	74
Tabla 5.3. Distribución vertical y lateral de las calles.	78

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

cd: Candelas

CFL: Compact Fluorescent Lamp (Lámpara fluorescente compacta)

CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad

ϵ : Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior

ϵ_R : Eficiencia energética de referencia

E_m : Iluminancia media de la instalación

GPS: Global Position System (Sistema de posicionamiento global)

hab./km²: Habitantes por kilómetro cuadrado

HPS Lamp: High Pressure Sodium Lamp (Lámpara de alta presión de sodio)

ICE: Índice de Consumo Energético

I_ϵ : Índice de eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior

IP: Ingress Protection (grado de protección)

LED: Light Emitting Diode (Diodo emisor de luz)

lm: Lúmen

lx: Luxes

lm/W: Lúmen por vatio

Mag/arc s²: Magnitude per Square Arcsecond (Magnitud por arco segundo al cuadrado)

MALE: Magnitud Límite Estelar

mg: miligramos

MH: Mounting Height (Altura de montaje)

MPSAS: Magnitude per Square Arcsecond (Magnitud por arco segundo al cuadrado)

NEMA: National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)

nm: Nanómetro

P: Potencia activa total instalada

Rad/1000 hab.: Radiación por cada 1000 habitantes

S: Superficie iluminada

SQM-L: Sky Quality Meter with Lens (Medidor de calidad de cielo nocturno con lente)

$\mu\text{cd}/\text{m}^2$: Micro candela por metro cuadrado

UI: Uniformidad longitudinal

Uo: Factor de uniformidad

UV: Ultravioleta

W/nm: Vatios por nanómetro

RESUMEN

Este proyecto se centra en la determinación del nivel de contaminación lumínica en un polígono del norte de la ciudad de Quito, para lo cual se utilizó un medidor de calidad de cielo nocturno. El valor promedio medido es de 15.2 mag/arc*s² si se considera que un cielo sin contaminación lumínica posee un valor mayor o igual a 22 mag/arc*s² se concluye que el sector en estudio posee un alto grado de contaminación lumínica.

Este trabajo muestra las posibles causas que ocasionaron la polución lumínica y las soluciones que buscan remediar los efectos que se derivan a causa de este fenómeno. Con el fin de conocer si la contaminación lumínica está directamente relacionada con el consumo excesivo de energía se procedió a determinar la calificación energética de las vías que se encuentran en el polígono en estudio de lo que se desprende que la calle N3 Cap. Ramón Borja posee una calificación “F” correspondiente a una vía no eficiente en el consumo de energía. Por último, propone soluciones para disminuir el grado de contaminación luminosa.

Palabras Clave: Alumbrado, contaminación, medidor, Quito, calificación, soluciones.

ABSTRACT

This project is focused on the determination of the light pollution level in a polygon located in the north of the city of Quito by using a night sky quality meter. The average value measured is 15.2 mag/arc*s². If a sky without light pollution has a value greater than or equal to 22 mag/arc*s², it is concluded that the sector under study has a high degree of light pollution.

This work shows the possible reasons that caused the light pollution and the solutions to reduce the effects result of this phenomenon. In order to know if the light pollution is directly related to the excessive consumption of energy, we proceeded to determine the energy rating of the roads that are in the polygon under study. The results show that the street N3 Cap. Ramón Borja has an “F” rating corresponding to an inefficient energy consuming street. Finally, this project proposes solutions to reduce the degree of light pollution.

Keywords: Lighting, pollution, meter, Quito, qualifications, solutions.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El presente capítulo está desarrollado para presentar los conceptos que corresponden a un sistema de iluminación exterior, así como también da a conocer los objetivos y alcances que se van a exponer en este trabajo.

La iluminación exterior es un aspecto que tiene cada vez mayor presencia en el ambiente nocturno humano. Sin embargo, más allá de los efectos previstos para la visión humana y el transporte, surgen varios impactos colaterales derivados de su uso; estos impactos son conocidos como “contaminación lumínica”.

Una de las causas principales de la contaminación lumínica nocturna es el flujo luminoso que las luminarias irradian directamente al cielo; este flujo es el emitido en ángulos por encima del plano horizontal, ver Figura 1.1.



Figura 1.1. Luminaria sin control de emisión de flujo luminoso.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

La Figura 1.2 (a) muestra un dispositivo de iluminación exterior de flujo no controlado en el cual se observa que una buena parte del flujo luminoso se dirige hacia el cielo, otro tanto a donde no se desea iluminar y la cantidad restante al plano donde se desea

iluminar; por otro lado, la Figura 1.2 (b) consiste en un dispositivo de iluminación exterior de flujo controlado en donde se direcciona de una mejor manera el flujo que sale de la luminaria tratando de aprovechar de una manera más eficiente la iluminación generada por la luminaria.

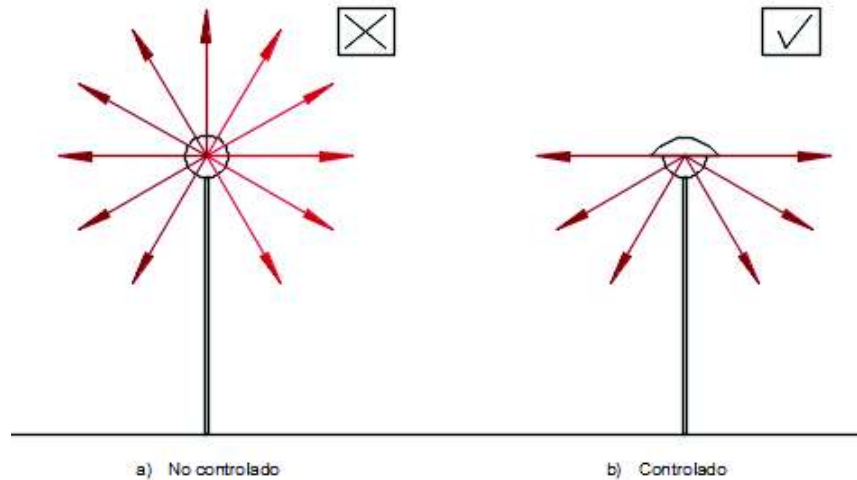


Figura 1.2. Dirección de la emisión de flujo luminoso.

(Fuente: Elaboración del autor, 2017)

Desde hace 50 años se han creado regulaciones que exigen el blindaje de las luminarias para prevenir la emanación de la luz sobre el plano horizontal; además, dan pautas para un consumo racional de la energía que absorben estos sistemas. En los últimos 25 años se extendieron las normas que limitan tanto la cantidad total de luz como de las características espectrales de su fuente de emanación luminosa.

1.2. Presentación

En el planeta la contaminación lumínica se ha convertido en un problema ambiental que no está siendo tomado con la seriedad del caso ya que su influencia no sólo es para la naturaleza sino también para el desarrollo económico-social del ser humano.

La iluminación exterior tiene como objetivo el de brindar seguridad y protección a las personas que pertenecen a una sociedad, busca mejorar el desarrollo económico y social de ciudades o pueblos. El ser humano ha creado una sociedad que trabaja las 24 horas del día y es una de las razones principales por la cual la iluminación nocturna se ha convertido en una necesidad para facilitar el uso de carreteras y zonas peatonales [1].

Actualmente, las ciudades están cubiertas de luces en edificios, calles, rótulos luminosos, muchas de las cuales dirigen su flujo luminoso hacia el cielo y a lugares no deseados, a esto se le llama contaminación luminosa; por ejemplo, una manera de contribuir a la contaminación o al resplandor del cielo es dejar las luces encendidas en los edificios que se encuentran sin personal trabajando o simplemente se encuentra deshabitados, también cuando las luces al aire libre apuntan hacia el cielo debido a que estas no se encuentran correctamente direccionadas.

Cabe señalar que este trabajo busca crear una base de datos inicial del grado de contaminación luminosa en el sector de mayor polución lumínica de la ciudad de Quito, esta información servirá para monitorear la evolución de este fenómeno con el paso del tiempo.

1.3. Objetivos

Considerando las necesidades de este documento los objetivos se han dividido en:

1.3.1. General

Obtener los grados de contaminación lumínica que actualmente existen en el sector norte de la ciudad de Quito considerando el mapa de contaminación lumínica mundial.

1.3.2. Específicos

- Obtener los niveles de iluminación de las instalaciones de alumbrado público en calles, plazas, avenidas, parques que se encuentran dentro del área de estudio.
- Obtener mediciones de polución lumínica, en el área bajo estudio, sobre la base de principio de medición establecidos en normas.
- Elaborar una base datos inicial, con las mediciones de contaminación lumínica, que servirá para conocer la evolución de la contaminación lumínica en el norte de la ciudad de Quito con respecto al paso del tiempo.
- Elaborar un mapa señalando los valores de contaminación luminosa que se tienen en la actualidad.
- Proponer soluciones para disminuir la contaminación lumínica y reducir el consumo de energía en el alumbrado público si fuese el caso.

1.4. Alcance

La ciudad de Quito, al igual que muchas urbes del planeta, está sufriendo diariamente de los efectos de diversas fuentes de contaminación; entre ellas el de la contaminación lumínica, lastimosamente hasta el desarrollo de este proyecto, la Ciudad de Quito no contaba con una base de datos certera con los valores reales de contaminación lumínica que sufre esta urbe; de acuerdo a [2], se observa que la contaminación lumínica en la Capital del Ecuador posee niveles comparables con ciudades como: Bogotá (Colombia), Lima (Perú), Buenos Aires (Argentina), Brasilia (Brasil). Con el fin de saber el porcentaje de la población que está expuesta a la contaminación lumínica se va a utilizar la información de Falchi et al. [3], para elaborar la Figura 1.3 y como referencia se considerará un valor de $170 \mu\text{cd}/\text{m}^2$ ($22 \text{ mag}/\text{arc}^2\text{s}^2$) que es de acuerdo a [3] el equivalente a un cielo libre de contaminación lumínica.

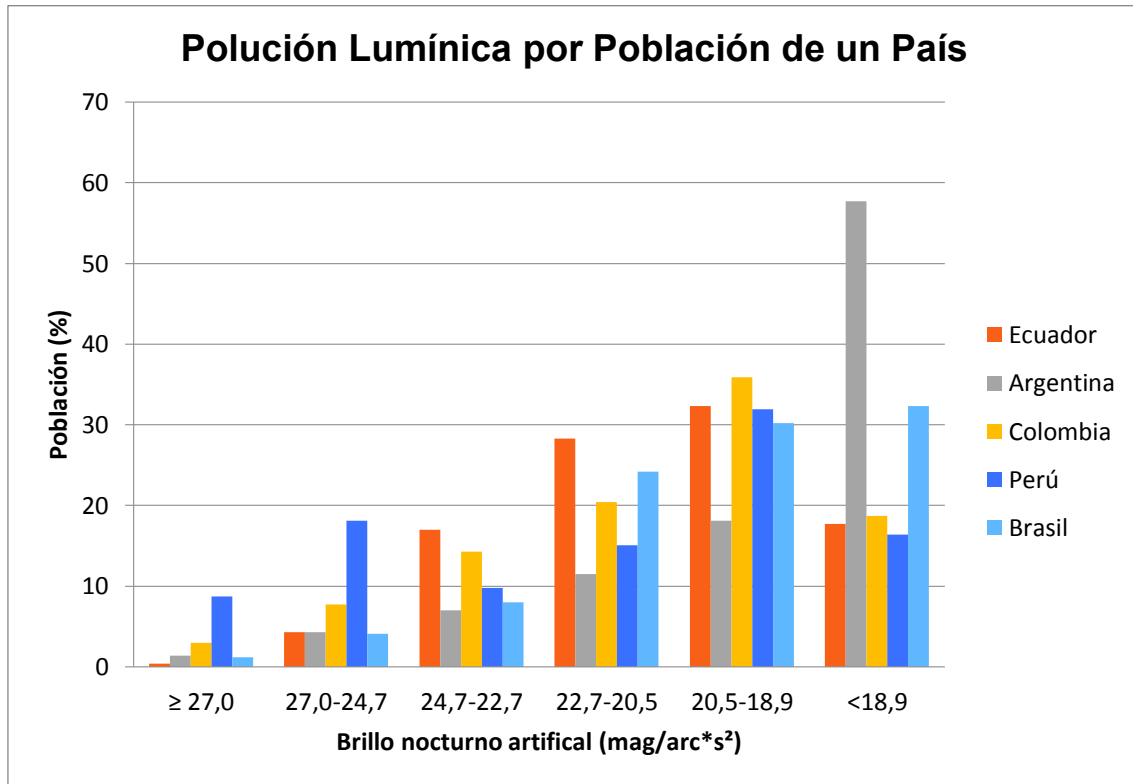


Figura 1.3. Polución lumínica por porcentaje de población de los países de Sudamérica.

(Fuente: F. Falchi et al, 2016)

En la Figura 1.3 se puede observar que aproximadamente un 32.3% de la población ecuatoriana se encuentra en el rango de 20.5–18.9 mag/arc*s²; lo que significa que este segmento poblacional ha sobrepasado el nivel aceptable de brillo nocturno; mientras que el 17.7 % ha superado los 18.9 mag/arc*s² es decir, el ambiente donde

se desarrollan estas personas posee una alta contaminación lumínica. Se puede observar también que todos los países de Sudamérica están sufriendo este mismo problema de manera especial Argentina y Brasil que actualmente pertenecen a los 20 países que a nivel mundial reciben una gran cantidad de contaminación lumínica tanto su población como su territorio [3].

Otro análisis que también debe ser tomado en cuenta es el conocer el porcentaje del territorio que se encuentra afectado por la contaminación lumínica, para determinar este valor se utilizaron los datos de [3], obteniéndose la Figura 1.4:

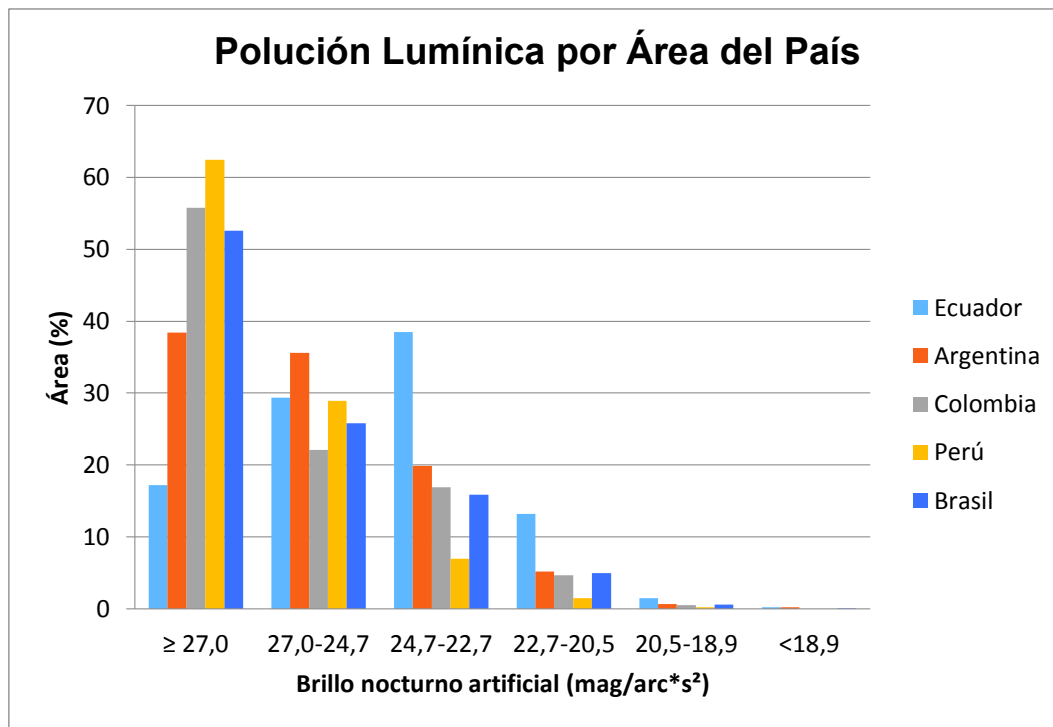


Figura 1.4. Polución lumínica por porcentaje de área de los países de Sudamérica.

(Fuente: F. Falchi et al, 2016)

De la Figura 1.4 se puede concluir que el 1.5 % del territorio ecuatoriano posee valores de contaminación lumínica en el rango de 20.5-18.9 mag/arc*s², es decir se trata de sectores donde se puede observar el brillo nocturno artificial a simple vista y también hay un 0.2 % del territorio que se halla por sobre los 18.9 mag/arc*s²; es decir, estos son sectores están altamente contaminados. Se observa que en países con alta polución luminosa, su población, se encuentra concentrada en áreas muy pequeñas del total de su territorio.

Debido a las razones expuestas este proyecto busca desarrollar una lista preliminar con los niveles reales de contaminación lumínica en la Ciudad de Quito para lo cual se va a utilizar el Mapa de Polución Lumínica Mundial mostrado en [2]; del área total se ha elegido uno de los sectores que poseen un alto grado de polución y que además se cuenta con la información referente a sus niveles de iluminación los cuales se detallan en [4]. El polígono seleccionado se encuentra limitado por las siguientes avenidas:

Tabla 1.1. Área seleccionada.

	Vía
Norte	Av. Leonardo Murialdo
Sur	Av. Rafael Ramos
Este	Av. 6 de Diciembre
Oeste	Av. Galo Plaza Lasso

(Fuente: Propia de autor, 2017)

Adicionalmente se utilizará la información recopilada en [4] para encontrar el nivel medio de iluminación del polígono limitado entre las calles señaladas en la Tabla 1.1, con los valores obtenidos y con los datos adquiridos en cada calle seleccionada (número de luminarias de vías, ambientales y rótulos luminosos) se procederá a determinar la calificación energética de las mismas con el fin de evaluar la posibilidad de que la contaminación lumínica es producto de la instalación excesiva de fuentes de iluminación nocturna.

Finalmente, con el análisis de los datos tabulados se procederá a dar un listado de las posibles soluciones para reducir la contaminación lumínica y mejorar la calificación energética de las calles en estudio, donde sea necesario.

1.5. Estructura de los capítulos

A continuación se presenta un breve resumen de los tópicos a ser considerados en cada uno de los capítulos del presente documento:

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Se da una breve presentación del proyecto incluyendo los objetivos que se buscan para desarrollarlo y se detallan las razones por las que se está exponiendo este trabajo.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Se detallará los conceptos y definiciones principales que son utilizados para el análisis de la contaminación lumínica de las instalaciones de alumbrado público.

CAPÍTULO III: LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL BAJO ESTUDIO

En este capítulo se mostrará la situación actual de las instalaciones de iluminación vial ambiental que se halla en el polígono seleccionado del sector Norte de la ciudad de Quito; tomando en cuenta el mapa de polución lumínica mundial [2].

CAPÍTULO IV: MEDICIÓN Y MAPEO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Se tabularán los valores obtenidos con ayuda de un medidor de calidad de cielo nocturno y se mostrarán los valores de contaminación lumínica que se presentan en los sectores señalados de la ciudad de Quito, además se realizará la calificación energética de acuerdo a [5].

CAPÍTULO V: PROPUESTAS DE SOLUCIONES

Se presentará una serie de soluciones para poder reducir la contaminación lumínica de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo 4 y considerando la calificación energética de cada sector a ser analizado.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se señalará si en el presente proyecto se cumplieron los objetivos propuestos de acuerdo a las normativas señaladas y si el equipo de medición utilizado cumple con las necesidades de conocer el grado de contaminación lumínica. Las recomendaciones estarán estrechamente ligadas a las conclusiones de este proyecto.

1.6. Justificación del Proyecto

La mayoría de la gente cuando escucha la palabra “contaminación” la relaciona con la polución del aire causada por las fábricas, automóviles, incendio de bosques; o la contaminación del agua originada por los derrames de petróleo o la generación de basura por parte del ser humano que amenazan los ríos, mares y bosques. Hoy en día si una persona que vive en un área urbana o suburbana todo lo que tiene que hacer para ver otro tipo de polución es salir por la noche y mirar hacia el cielo, el brillo que bloquea las estrellas se llama contaminación lumínica, ver Figura 1.5; este es un

problema creciente que no sólo amenaza a los seres humanos, influye también en la vida silvestre, el cielo nocturno y los hábitats naturales es por eso que se debe fomentar un uso racional de la iluminación nocturna.



Figura 1.5. Iluminación nocturna en la ciudad de Quito.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

En este proyecto se presentará el conjunto de las mediciones que se realizaron para conocer el grado de contaminación lumínica en el sector en estudio, el equipo a ser utilizado para esta adquisición de datos es un Medidor de Calidad de Cielo SQM-L [6] (por sus siglas en inglés, Sky Quality Meter), con los valores obtenidos se podrá realizar una evaluación de la polución luminosa en la Ciudad de Quito con el fin de desarrollar una lista inicial que servirá para conocer la evolución de la contaminación luminosa y buscar las posibles soluciones en corto y largo plazo.

El nivel de iluminación promedio será determinado gracias a las mediciones obtenidas en [4]; en ese trabajo los datos fueron adquiridos de acuerdo al procedimiento señalado en [7]. Con los parámetros especificados anteriormente se determinará si los circuitos son energéticamente eficientes y de esta manera se podrá conocer la existencia de una relación entre contaminación luminosa y el consumo excesivo de energía o sólo se trata de una mala ubicación de las luminarias en las diferentes calles en estudio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Teórico

En este capítulo se van a dar a conocer los efectos que se tiene en las vías cuando se presenta el fenómeno de contaminación lumínica. La polución en gran parte es producto de un mal diseño de iluminación en donde se permite que la luz artificial brille hacia afuera y arriba en lugar de enfocar su flujo luminoso hacia algún plano de trabajo; la iluminación nocturna elimina la oscuridad de la noche y altera radicalmente los niveles de luz a los que se han adaptado muchas formas de vida, incluido el ser humano; dondequiera que la luz artificial se derrame en el mundo natural, afecta de manera directa a la migración, reproducción y/o alimentación.



Figura 2.1. Iluminación nocturna en la Av. De La Prensa (Quito, Ecuador).

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Un sistema de iluminación exterior debe ser capaz de promover seguridad, visibilidad adecuada, facilitar el tránsito de las personas, etc.; un alumbrado más brillante no significa necesariamente que sea mejor ya que si no es adecuadamente distribuido puede presentar efectos como el deslumbramiento; si el sistema no está diseñado e instalado correctamente, el deslumbramiento puede dar como resultado una reducción de la eficacia de la iluminación

dificultando la visibilidad contribuyendo a los accidentes. La iluminación que es demasiado brillante interfiere con la capacidad del ojo para adaptarse a las zonas más oscuras.



Figura 2.2. Iluminación exterior en la Av. América (Quito, Ecuador).

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

2.2. Conceptos básicos

En esta sección se va a definir algunas definiciones básicas de luminotecnia las mismas que serán utilizadas a lo largo de este documento; es decir servirá para entender de mejor manera las magnitudes y unidades empleadas en iluminación.

- a) **Flujo luminoso:** Es la cantidad de radiación luminosa emitida por una fuente de luz; en otras palabras se trata de energía irradiada sobre longitudes de onda sensibles al ojo humano. Las unidades con que se expresa el flujo luminoso son los lúmenes (lm) [8,9].
- b) **Intensidad Luminosa:** Corresponde a un segmento del flujo luminoso que se emite en una determinada dirección. Su unidad es la candela (cd) [8,9].
- c) **Iluminancia o nivel de iluminación:** Flujo luminoso incidente por unidad de superficie, es decir, es una magnitud que sirve para medir la cantidad de luz en un lugar determinado. Su unidad es el Lux (lx) [8].

- d) **Luminancia o brillo:** Es la intensidad luminosa emitida por unidad de superficie, es decir, expresa el brillo de las fuentes o de los objetos iluminados. Sus unidades son cd/m^2 [10].
- e) **Eficacia Luminosa:** Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y su potencia consumida. Se expresa en lm/W [8].
- f) **Visión Fotópica:** Es la percepción visual que se produce con niveles de iluminación diurnos, el ojo tiene mayor sensibilidad en la longitud de onda de 555 nm que corresponde al color amarillo verdoso. En visión fotópica se tiene una eficacia luminosa de 683 lm/w [9] .
- g) **Visión Escotópica:** Es la percepción visual que se produce con niveles de iluminación nocturno (crepúsculo y noche), quedando la sensibilidad máxima en la longitud de onda de 507 nm. Significa que aunque no hay visión de color, el ojo se hace muy sensible a la energía en el extremo azul del espectro y casi ciego al rojo; es decir, de dos haces de luz de igual intensidad, uno azul y otro rojo, el azul se verá mucho más brillante que el rojo. En visión escotópica se tiene una eficacia luminosa de 1700 lm/w [9] .
- h) **Magnitud:** Se trata de una unidad histórica que sirve para cuantificar el brillo de una estrella, en astronomía se utiliza un sistema de “magnitud estelar”. La “magnitud” o brillo de la una estrella depende del brillo intrínseco de la estrella como de su distancia a la Tierra. En base a esto, a cada estrella se le asigna un número de magnitud aparente. Debido a que la escala de magnitud es una escala relativa, hay una “magnitud de punto cero” que es la estrella Vega que se encuentra en la constelación Lyra, a la que se comparan todas las otras estrellas [11].
- i) **MPSAS (Magnitude per Square Arcsecond ó Mag/arc^2):** Es una medida logarítmica que significa que los grandes cambios en el brillo del cielo nocturno relativamente corresponden a pequeños cambios numéricos. Por ejemplo: Una diferencia de 5 magnitudes es un factor de 100 veces su intensidad [11].
- j) **Nadir:** Es el punto opuesto al zenit, es decir, se encuentra debajo de los pies del observador [12].

2.3. Luminarias para áreas exteriores

De acuerdo con la definición dada por la CIE (Comisión Internacional de la Iluminación): “Una luminaria es un dispositivo que distribuye, filtra o transformar la luz emitida por una o más lámparas; incluye todos los componentes necesarios para fijación y protección; además, sirve como soporte y conexión a la red eléctrica” [13].

2.3.1. Características principales de las luminarias

Las características principales que se deben verificar en una luminaria son:

- a) **ÓPTICAS:** Una luminaria debe ser capaz de controlar y distribuir la luz emitida por la lámpara.
- b) **MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS:** Una luminaria debe brindar solidez, debe estar elaborada en material adecuado a las condiciones de trabajo previstas, temperatura, humedad ambiental y facilidad para efectuar las mantenciones correspondientes (GRADO DE PROTECCIÓN IP O NEMA).
- c) **ESTÉTICOS:** Las luminarias no deben desentonar con el medio arquitectónico o ambiente en que están emplazados y deben ajustarse a las condiciones de trabajo del local.

Las luminarias se clasifican de acuerdo a muchos parámetros; tales como: el grado de protección, tipo de lámpara, tipo de arranque, servicio en locaciones interiores o exteriores entre otros; para este proyecto se va a describir la clasificación de las luminarias de acuerdo a la manera como se distribuye su flujo luminoso emitido de acuerdo al ángulo de elevación.

2.3.2. Intensidad emitida por ángulo de elevación

Con esta clasificación se pretende catalogar las luminarias de acuerdo al grado de deslumbramiento directo que producirán. La incapacidad visual y el deslumbramiento son el resultado de la emisión directa de rayos de luz al ojo humano. Esto se debe, en gran medida, a que un buen porcentaje de luz que sale de la luminaria se dirige en una trayectoria que no es provechosa para el ser humano es decir a un ángulo de elevación entre 80° y 90° por encima del nadir. También es preocupante la cantidad de luz que fluye de la luminaria por sobre los 90° del nadir; esta luz contribuye al resplandor del cielo. En la Figura 2.3 se puede apreciar la manera en que se clasifican las luminarias de acuerdo a la emisión del flujo luminoso por ángulo de elevación, [14]:

A continuación se describen cada una de ellas.

- a) **Full Cut-off (haz de luz completo).** El sistema óptico de Full Cut-off no dispersa la luz más arriba de la horizontal y limita a un valor no superior al 10% de los lúmenes de la lámpara a un ángulo igual o superior a 80° .

- b) Luminarias Cut-off (haz de luz recortado). La intensidad por encima de la horizontal es menor del 2.5% de los lúmenes de la lámpara y limita a no más del 10% de los lúmenes de la lámpara por encima de 80°.
- c) Luminarias Semi Cut-off (haz de luz semirrecortado). La intensidad por encima de la horizontal no debe superar el 5% de los lúmenes de la lámpara y limita a no más del 20% de los lúmenes de la lámpara por encima de 80°.
- d) Luminarias non Cut-off (haz de luz no recortado). Una luminaria se considera como non cut-off cuando no tienen ninguna limitación luminosa en ningún ángulo.

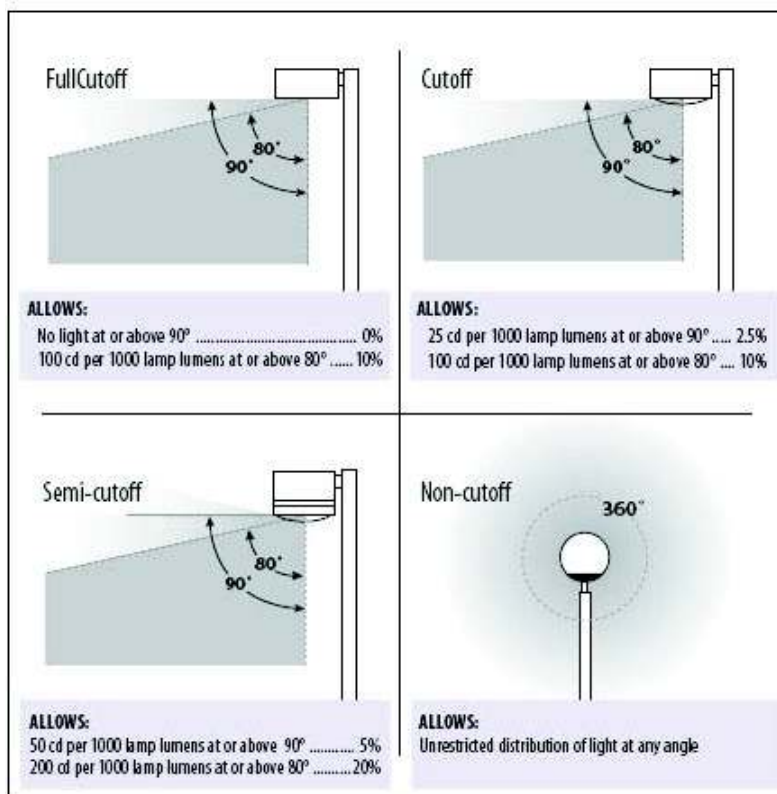


Figura 2.3. Clasificación de luminarias por ángulo de elevación.

(Fuente: Lithonia Lighting, 2017)

2.4. Fuentes de luz visible

El componente principal en una luminaria es la lámpara por lo que es necesario conocer con que eficiencia es capaz de producir luz visible; a continuación, se describirán las lámparas mayormente utilizadas en alumbrado público.

Estas fuentes son dispositivos técnicos que convierten la energía eléctrica en radiación y en luz artificial; estos dispositivos se clasifican como se muestra en la siguiente figura, [15]:

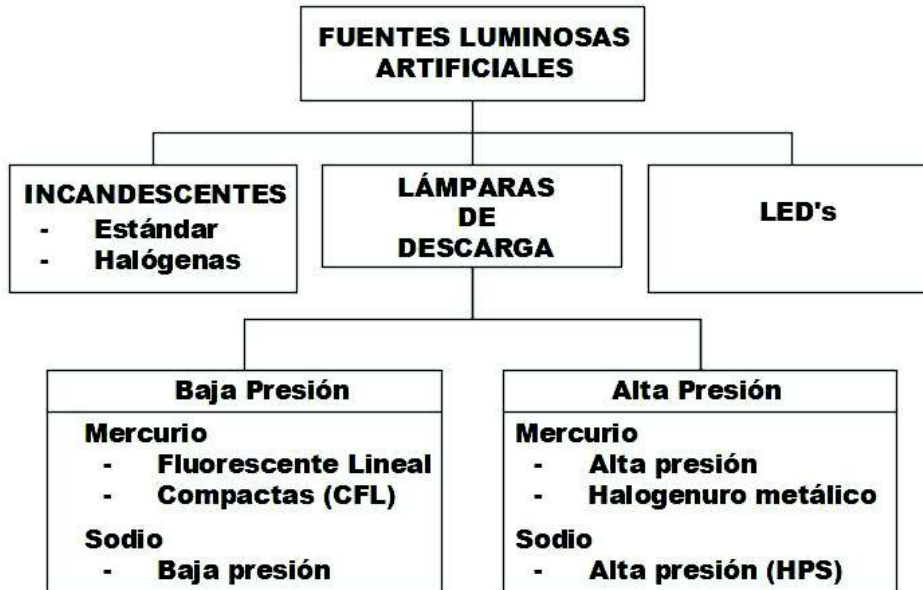


Figura 2.4. Clasificación de fuentes luminosas.

(Fuente: S Almási et al, 2007)

A continuación, se detallan cada una de ellas:

2.4.1. Incandescentes

En las fuentes incandescentes, la luz es producida por la radiación de un filamento a alta temperatura ocasionada por la circulación de una corriente eléctrica a través de ella. El espectro de luz generada contiene radiación en cada longitud de onda y su espectro es monótono. Una cantidad considerable de calor se genera al mismo tiempo que la luz visible se hace presente. Las lámparas que funcionan bajo este principio son: lámparas incandescentes de filamentos (estándar), las lámparas halógenas de tungsteno.

a) Lámparas incandescentes estándar

La emisión luminosa de una lámpara incandescente se produce cuando un filamento de tungsteno es calentado por una corriente eléctrica. Este filamento alcanza una temperatura

elevada y la radiación que emite cae en la región visible del espectro; cabe señalar que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda del rango señalado.

Las lámparas incandescentes convierte la décima parte de la energía que consumen en luz visible, debido a esta razón son las lámparas que tienen la peor eficiencia energética en el mercado, a continuación se puede apreciar en la Figura 2.5 la distribución energética de estas lámparas, [16]:

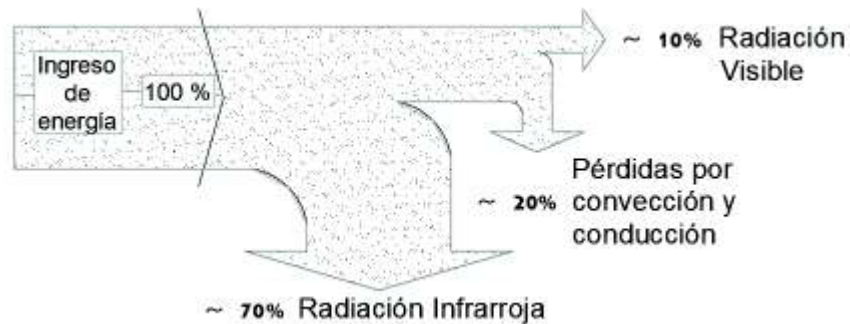


Figura 2.5. Flujo de energía de una lámpara incandescente.

(Fuente: Dr. Habil. Andrés Majoros, 2011)

De acuerdo a lo señalado estas lámparas son poco eficientes ya que el 90% de la energía que consumen no produce radiación visible.

La distribución espectral de una lámpara incandescente se puede observar en la Figura 2.6:

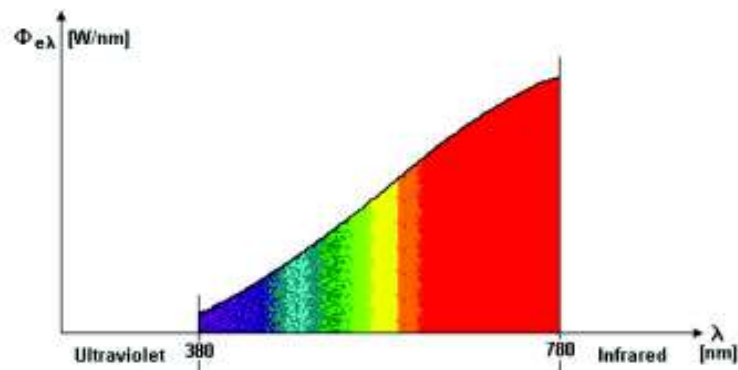


Figura 2.6. Distribución espectral de una lámpara incandescente.

(Fuente: Dr. Habil. Andrés Majoros, 2011)

b) Lámparas halógenas

Utiliza un gas halógeno que le permite tener un encendido más brillante sin sacrificar su duración. Al convertir la electricidad en luz aumenta su eficiencia y permite a las lámparas halógenas típicas ofrecer más luz con menos energía y con un tamaño físico más pequeño.

En comparación con las lámparas incandescentes las lámparas halógenas convierten una mayor energía en luz visible, ver Figura 2.7, [17]:

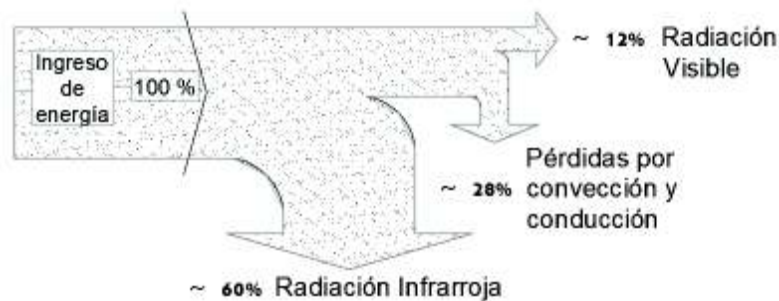


Figura 2.7. Flujo de energía de una lámpara halógena.

(Fuente: Dr. Habil. Andrés Majoros, 2011)

Como se pudo observar en la figura 2.7 las lámparas halógenas producen casi la misma cantidad de radiación visible como una lámpara incandescente.

La distribución espectral de una lámpara halógena se puede observar en la Figura 2.8, [16]:

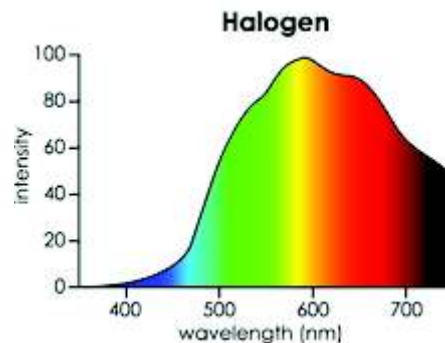


Figura 2.8. Distribución espectral de una lámpara halógena.

(Fuente: Dr. Matt Geller, 2014)

2.4.2. Lámparas de descarga

En este tipo de lámparas la luz emitida se consigue por la excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos; ahora, dependiendo del tipo de gas contenido y de la presión a que esta se halla sometida se tendrán diferentes tipos de lámparas, de la siguiente manera:

a) Lámparas de descarga de baja presión

Estas se clasifican en lámparas de baja presión de mercurio y sodio, estas se describen a continuación:

- **Lámparas de vapor de mercurio de baja presión**

Las lámparas de vapor de mercurio de baja presión a su vez se clasifican en:

- i. Lámpara fluorescente lineal
- ii. Lámpara fluorescente compacta

A continuación se describirá a cada una de ellas:

i. **Lámpara fluorescente lineal**

En un tubo de descarga de una lámpara de luz fluorescente, los electrones libres y los iones de un gas inerte contenido en su interior, como el argón, crean las condiciones necesarias para la creación de un puente a través del cual puede fluir la corriente eléctrica; cuando los electrones libres fluyen por el puente chocan con los átomos de mercurio (aproximadamente 5 mg) liberando fotones de luz ultravioleta, al mismo tiempo, esta luz impacta sobre la capa fluorescente que recubre la pared interior del tubo de cristal de la lámpara; en ese instante se liberan fotones de luz visible para el ojo humano.

Las lámparas fluorescentes lineales convierten aproximadamente el 25 % de la energía que consume en luz visible, tal como se puede observar en la Figura 2.9, [16]:

La distribución espectral de una lámpara fluorescente lineal se puede observar en la Figura 2.10, en ella se puede analizar las diferentes curvas espectrales considerando la temperatura de color, sea esta cálida (warm), neutra (neutral) y fría (cool), [16]:



Figura 2.9. Flujo de energía de una lámpara fluorescente lineal.

(Fuente: Dr. Habil. Andrés Majoros, 2011)

En comparación con las incandescentes se observa que las lámparas fluorescentes son mucho más eficientes ya que producen luz visible con el 25% de la energía que consumen.

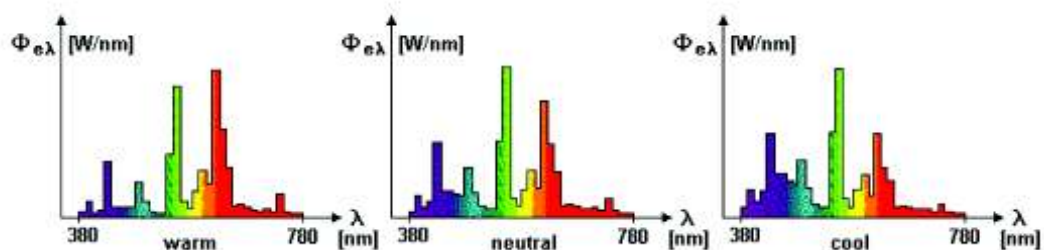


Figura 2.10. Distribución espectral de una lámpara fluorescente lineal.

(Fuente: Dr. Matt Geller, 2014)

ii. Lámpara fluorescente compacta

Las lámparas fluorescentes compactas (CFL, por sus siglas en inglés “Compact Fluorescent Lamp”) producen luz cuando una corriente eléctrica fluye a través de un tubo que contiene argón y una pequeña cantidad de vapor de mercurio (hasta 3.5 mg), [18]. Esto genera una luz

ultravioleta invisible que excita un revestimiento fluorescente (llamado fosforo) en el interior del tubo, que luego emite luz visible.

Las CFL consumen aproximadamente un 70% menos de energía que las bombillas incandescentes y del total de energía que consumen el 22% de ella se transforma en luz visible.

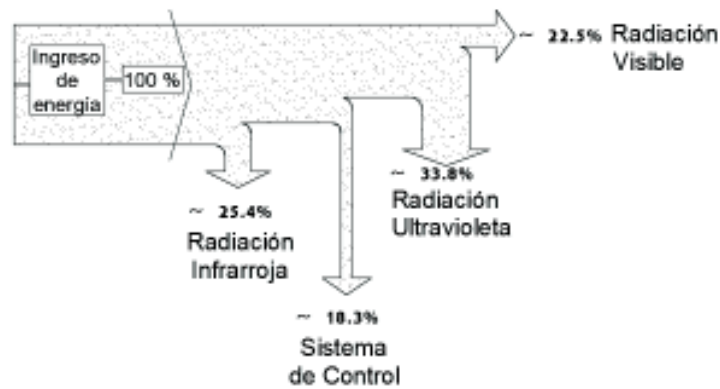


Figura 2.11. Flujo de energía de una lámpara fluorescente compacta.

(Fuente: OSRAM DULUX, 2011)

La distribución espectral de las lámparas fluorescentes compactas se puede observar en la Figura 2.12, [18]:

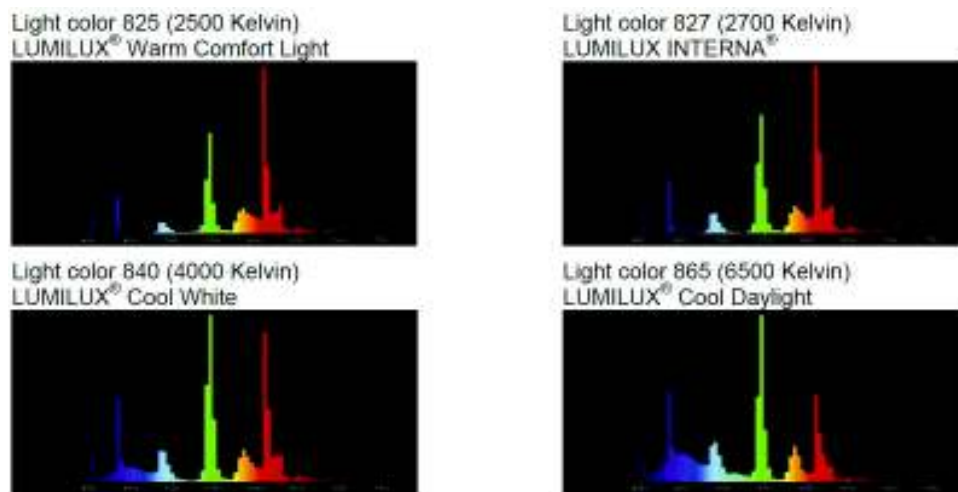


Figura 2.12. Distribución espectral de lámparas fluorescentes compactas.

(Fuente: OSRAM DULUX, 2011)

- **Lámparas de sodio de baja presión**

Existe la misma similitud en el trabajo de producir luz visible entre una lámpara de sodio de baja presión y una de mercurio de baja presión. La luz se produce al convertir la radiación ultravioleta de la descarga del vapor de sodio en radiación visible. La lámpara de sodio de baja presión produce una luz de color amarillo, y en casi la totalidad de su espectro predominan las frecuencias cerca del amarillo. La reproducción de color será la menos valorada de todos los tipos de luminaria. Las lámparas de vapor de sodio de baja presión utilizan el 31% de la energía que consumen en radiación visible tal como se puede observar en la Figura 2.13, [19]:

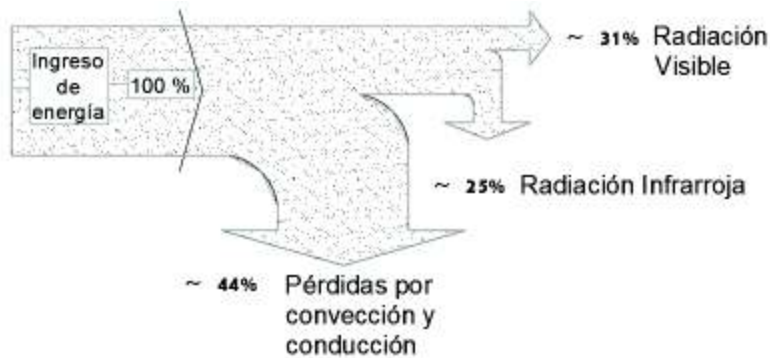


Figura 2.13. Flujo de energía de una lámpara de sodio de baja presión.

(Fuente: Juan José Medina Barrio, 2006)

La distribución espectral de las lámparas de sodio de baja presión, se puede observar en la Figura 2.14, [20]:

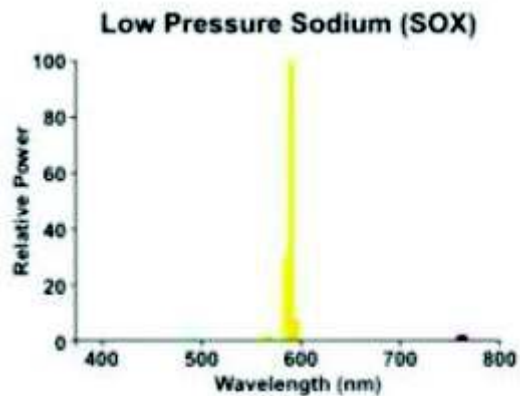


Figura 2.14. Distribución espectral de lámparas de sodio de baja presión.

(Fuente: LAMPTECH, 2011)

b) Lámparas de descarga de alta presión

Estas lámparas se dividen de acuerdo al gas que se halla en su interior, se clasifican en: lámparas de alta presión de mercurio y de sodio; las primeras a su vez se dividen en lámparas de vapor de mercurio y de haluros metálicos y se las describe a continuación:

- **Lámparas de vapor de mercurio**

Estas lámparas para alumbrado público en Ecuador han quedado prohibidas [21].

- **Lámparas de haluros metálicos**

Conocidas comúnmente, por su nombre en inglés, como lámparas “METAL HALIDE” consisten en un tubo de arco (tubo de descarga) dentro de un bulbo, su funcionamiento empieza cuando su balasto suministra un alto voltaje de arranque, a medida que la presión y la temperatura aumentan, los materiales dentro del tubo de arco (gas argón, mercurio y sales de haluro metálico) vaporizan emitiendo luz y radiación ultravioleta (UV). El bulbo, hecho de vidrio de borosilicato, proporciona un entorno térmico estable para el tubo de arco, contiene una atmósfera inerte que evita que los componentes del tubo de arco se oxiden a altas temperaturas, además, reduce la cantidad de radiación UV que emite la lámpara. Algunas lámparas “metal halide” tienen un acabado recubierto en el interior de la bombilla que sirve para difundir la luz, en otros casos posee una capa de fósforo que se utiliza para cambiar las propiedades de color de la lámpara.

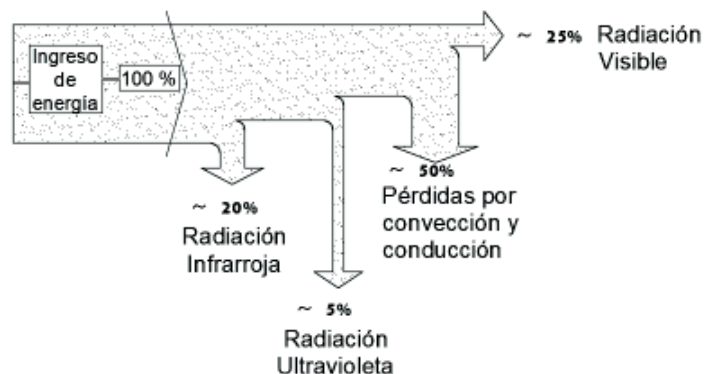


Figura 2.15. Flujo de energía de una lámpara de haluros metálicos.

(Fuente: Bureau of Energy Efficiency, 2006)

La distribución espectral de las lámparas de haluros metálicos se puede observar en la Figura 2.16:

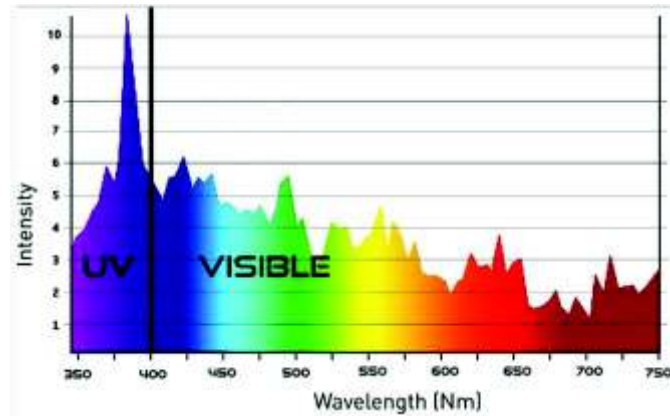


Figura 2.16. Distribución espectral de lámparas de haluros metálicos.

(Fuente: SolistTek, 2014)

- **Lámparas de vapor de sodio de alta presión**

Las lámparas de sodio de alta presión, HPS (por sus siglas en inglés, High Pressure Sodium), a menudo se utilizan cuando a largo plazo es más importante la economía que una reproducción precisa del color. Son altamente eficaces y producen un color amarillo cálido apropiado para la iluminación de:

- Parques
- Centros comerciales
- Calzadas
- Áreas de entretenimiento

Las ventajas de estas luminarias con respecto a la de baja presión de sodio son la eficacia energética elevada y su larga vida útil.

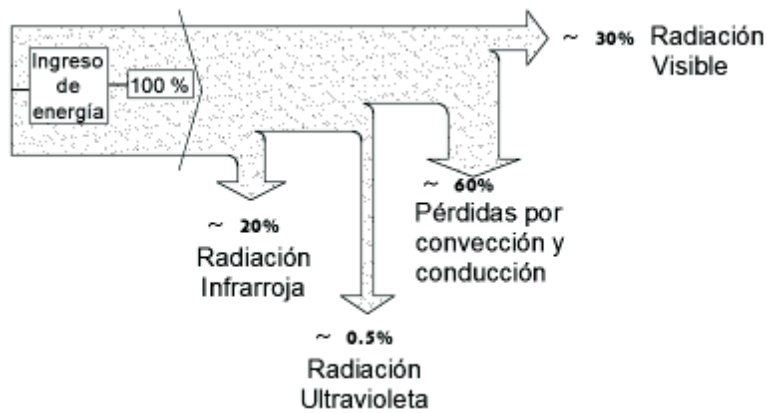


Figura 2.17. Flujo de energía de una lámpara de sodio de alta presión.
(Fuente: Dr. Matt Geller, 2014)

La distribución espectral de las lámparas de sodio de alta presión se puede observar en la Figura 2.18:

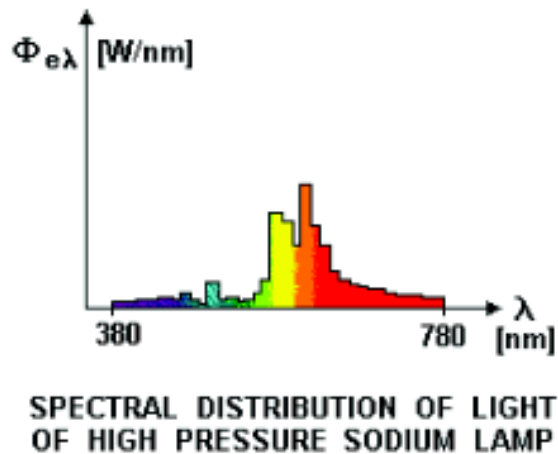


Figura 2.18. Distribución espectral de una lámpara de sodio de alta presión.
(Fuente: Dr. Matt Geller, 2014)

2.4.3. Lámparas LED

Una lámpara LED (por sus siglas en inglés, Light- Emitting Diodes) son dispositivos semiconductores que convierten la electricidad en luz, siendo aproximadamente 10 veces más eficiente que las luces incandescentes. Este tipo de iluminación es de estado sólido porque la luz se emite de un objeto sólido en lugar de un tubo de vacío o de gas como ocurre con las luces tradicionales incandescentes, fluorescentes o HID. A diferencia de las lámparas

señaladas anteriormente los LED no son inherentemente blancos. La luz “blanca” es en realidad una mezcla de longitudes de onda en el espectro visible, mientras que los LED emiten luz en un rango muy estrecho de longitudes de onda, por lo que son ideales para producir luz coloreada, por esta razón el 80% de su energía consumida se transforma en luz visible [22].

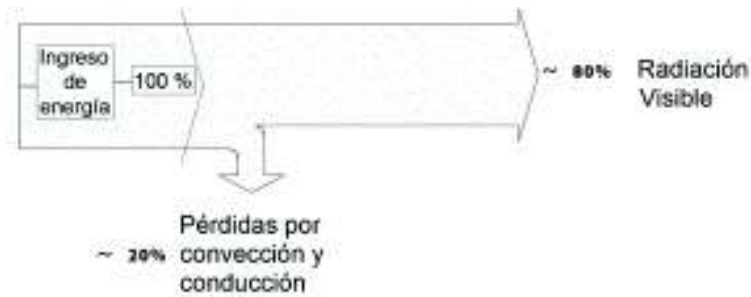


Figura 2.19. Flujo de energía de una lámpara LED.

(Fuente: Dale Van Scoyk, 2010)

La distribución espectral de las lámparas LED se puede observar en la siguiente figura, [23]:

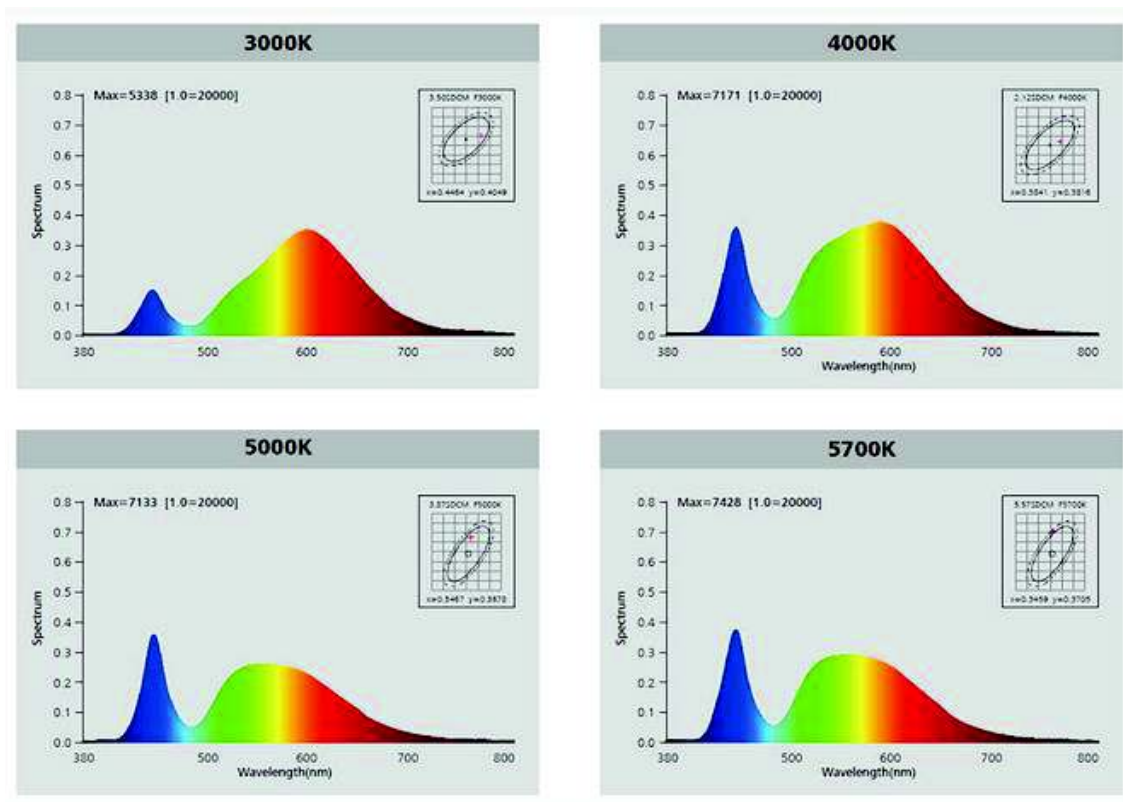


Figura 2.20. Distribución espectral de lámparas LED.

(Fuente: IFONS, 2014)

2.5. Tipos de contaminación luminosa

A raíz de la necesidad del hombre por iluminar las noches se ha generado de manera directa la contaminación lumínica; esta se presenta de diferentes formas tal como se señala en [24] y son:

2.5.1. Brillo del cielo nocturno

Es el resplandor naranja-rosado que se observa en las noches sobre las ciudades; este resplandor puede ser ocasionado por factores naturales o por luces artificiales que brillan innecesariamente en el cielo y que se dispersan, aún más, por las partículas de polvo en el aire, los gases de efecto invernadero y las gotitas de agua. El resplandor señalado se ve mejor en malas condiciones meteorológicas donde más partículas están presentes en la atmósfera.

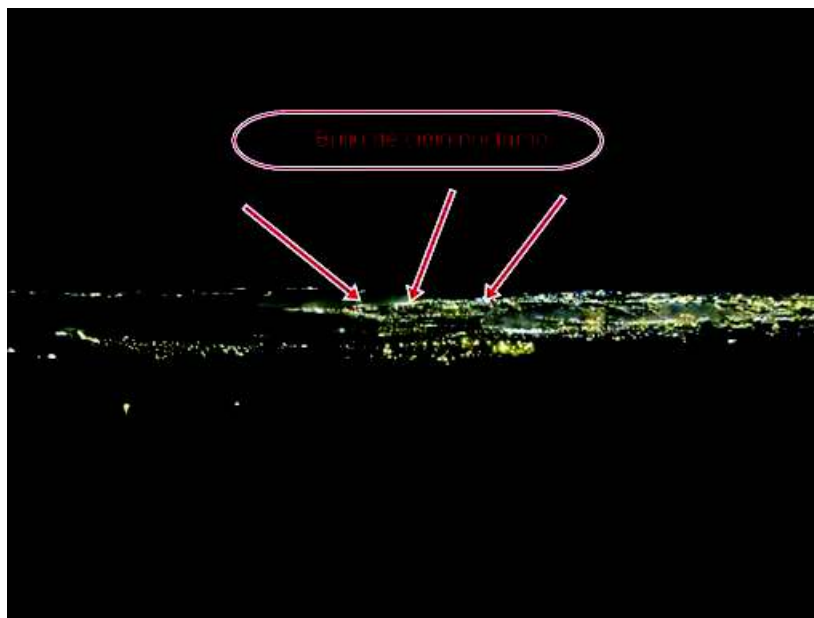


Figura 2.21. Cielo nocturno de la Ciudad de Quito, Ecuador.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

2.5.2. Deslumbramiento

Es el efecto producido cuando los ojos están expuestos a la luz brillante. Por ejemplo, si una linterna brillante se dirige directamente a la cara en un lugar oscuro el observador queda cegado y no puede ver otros objetos o sombras alrededor.

El deslumbramiento es potencialmente peligroso al conducir, porque las luces brillantes de los autos que vienen en dirección contraria, reducen la visión del conductor y ponen en peligro a los peatones y a otros usuarios de la carretera. Las causas más comunes de deslumbramiento incluyen las luces viales, los rótulos luminosos y las luces de los automotores, ver Figura 2.22.

2.5.3. Luz intrusa

Esto efecto se produce cuando la luz sobrepasa los límites del área a ser iluminada, ver Figura 2.23; es decir, por ejemplo, en una vivienda la luz que se utiliza como seguridad en un sector determinado si es dirigida incorrectamente puede ingresar a la vivienda contigua iluminando por ejemplo los dormitorios de su vecino. La luz intrusa es un problema muy común entre los residentes de un determinado sector pero de igual manera es un inconveniente que se puede arreglar fácilmente con el equipo de iluminación adecuado. Las principales fuentes de luz intrusa son: Las luces de vías, iluminación de parques y jardines, de campos deportivos e iluminación comercial.



Figura 2.22. Deslumbramiento en la calle Falconí en la ciudad de Quito, Ecuador.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)



Figura 2.23. Iluminación intrusa en la calle Domingo Segura de la Ciudad de Quito, Ecuador.
(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

2.5.4. Sobre iluminación

Este fenómeno se presenta cuando se agrupan de manera excesiva las luminarias en un lugar determinado ocasionando que se vea afectada la estética; además, este excesivo agrupamiento puede generar confusión, distracción ante obstáculos tanto para peatones como para conductores de vehículos. Este hecho ocurre cuando las avenidas no están bien diseñadas o cuando éstas se encuentran rodeadas por demasiada publicidad brillante, ver Figura 2.24.



Figura 2.24. Mala ubicación de luminarias en Av. De La Prensa (Quito, Ecuador).
(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

2.6. Fuentes de contaminación luminosa artificial

Partiendo del hecho de que la contaminación luminosa es el resultado de los efectos provocados por una luz artificial, el entorno donde se ubica y la propia utilización de la fuente, se puede afirmar que todas las luces artificiales que emiten por encima de la horizontal es probable que causen contaminación lumínica; esto es debido a que un porcentaje de luz no está dirigida correctamente al área donde se necesita iluminar.

En los últimos años con el desarrollo de la tecnología se han construido equipos de iluminación más eficientes permitiendo dirigir la luz hacia lugares específicos, minimizando así los efectos molestos de la iluminación; por ejemplo, aquellas luminarias que dirigen hacia abajo la totalidad de sus rayos luminosos se llaman luces apantalladas o “full cut-off”.

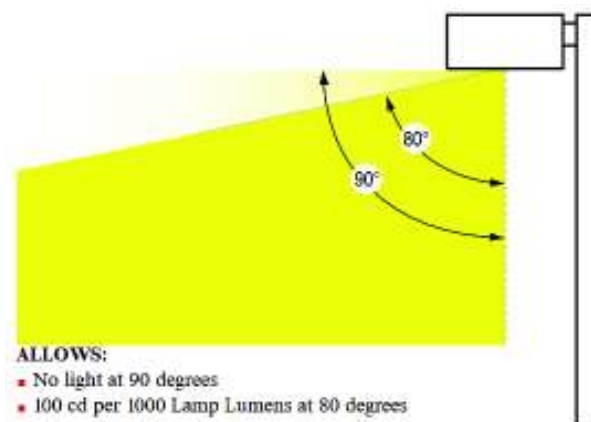


Figura 2.25. Luminaria Cut-off.

(Fuente: Douglas Paulin, 2001)

Las principales fuentes de contaminación luminosa son:

2.6.1. Luces de vías y de automotores

En las ciudades, cientos de kilómetros de carreteras se encuentran cubiertas por luminarias que se hallan encendidas toda la noche; se incluye además la iluminación de los vehículos que utilizan estas carreteras generando luz que se dirige hacia arriba y a otros lugares no deseados. De acuerdo a [25], se estima que alrededor del 35% al 50% de toda la contaminación lumínica es producida por la iluminación de la calzada, ver Figura 2.26.

2.6.2. Anuncios publicitarios y centros comerciales

Muchos de los anuncios publicitarios ubicados en las ciudades y las carreteras dirigen su haz luminoso hacia arriba, Figura 2.27, estos avisos están compuestos por luminarias de largo alcance y se encuentran ubicadas en la parte más baja del objeto a ser iluminado.

A estas luminarias se las encuentran en restaurantes, discotecas, vallas publicitarias, centros comerciales, tiendas, etc. El objetivo de estos equipos es el de atraer clientes.

Muchas de las luces que se emplean en anuncios publicitarios no están dirigidas a un lugar en particular; por lo que su dispersión es mayor a lo previsto.



Figura 2.26. Iluminación de vías y automotores en la Av. La Prensa (Quito, Ecuador).

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)



Figura 2.27. Anuncio publicitario en la Av. Mariana de Jesús, (Quito, Ecuador).

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

2.6.3. Deportes nocturnos

Los reflectores que iluminan estadios y otros lugares donde se practican deportes a menudo contribuyen a la contaminación lumínica esto se debe a que son luminarias que distribuyen la luz de manera uniforme y en todas direcciones. Estos elementos se utilizan también en parqueaderos.



Figura 2.28. Iluminación de un centro deportivo en la Av. Amazonas, (Quito, Ecuador).

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

2.6.4. Parques, aeropuertos y lugares públicos

Muchas de estas áreas utilizan luces obsoletas en la que su emisión de flujo luminoso no se encuentra controlada y se dispersa en todas las direcciones, ver Figura 2.29.

2.6.5. Áreas residenciales

La contaminación lumínica en estas áreas tiende a generar deslumbramiento y luz intrusa. Las luces de jardín y paisajística están destinadas a añadir estética al paisaje y la arquitectura pero a menudo terminan como una molestia por la noche ya que tienden a causar irritación a las personas mientras caminan o conducen por estos sectores, Figura 2.30



Figura 2.29. Iluminación del parque EPMAPS, (Quito, Ecuador).
(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)



Figura 2.30. Iluminación residencial Av. La Prensa, (Quito, Ecuador).

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

2.6.6. Fuentes de contaminación luminosa natural

Adicional a los causantes de contaminación luminosa por luces artificiales se tienen otros promotores de polución que son del tipo natural y se citan a continuación, [11]:

2.6.7. Aurora

Las partículas cargadas emitidas desde el Sol son dirigidas a los polos de la Tierra por la influencia del campo magnético terrestre; estas partículas chocan con los átomos de la atmósfera y provocan la emisión de luz [11].

2.6.8. Luminiscencia nocturna (Airglow)

Es la luz producida por varios fenómenos en la atmosfera que impiden que el cielo sea totalmente oscuro. Los efectos de los polos magnéticos de la Tierra pueden hacer que el brillo del aire sea más brillante cerca de los polos [11].

2.6.9. Humedad

Las nubes, la niebla, la neblina reflejan la luz artificial de vuelta a la tierra. Si no hay luz artificial, las nubes pueden impedir que la luz de las estrellas llegue a la superficie terrestre. Esta

situación extra-oscura puede ocurrir en áreas muy aisladas como las cimas de las montañas, el océano o el desierto [11].

2.6.10. Erupciones volcánicas

El polvo liberado en la atmósfera por los volcanes puede reflejar la luz de la superficie de la tierra hacia abajo. En un lugar oscuro este polvo evitará la luz proveniente de las estrellas y la Vía Láctea y producirá una lectura más alta (más oscura).

2.6.11. Luz zodiacal

La luz solar reflejada por las partículas de polvo en el plano eclíptico del sistema solar se llama luz zodiacal [11].

2.7. Efectos de la polución lumínica

En las ciudades el exceso de iluminación que se utiliza en edificios y vías es una muestra evidente de la manera poco eficiente que se utiliza la energía. Se podría pensar que esta contaminación afecta solamente a los astrónomos pero en realidad influye a todos los seres humanos y el ambiente que lo rodea, tal como se señala en [24,26,27], y los principales son:

2.7.1. Desperdicio de recursos

Cuesta mucho dinero la instalación de equipos para iluminación de casas, espacios públicos, áreas deportivas y comerciales; además, se destina bastante recurso económico en la compra de energía para su funcionamiento, por ejemplo: En Ecuador en el año 2015 se tenía previsto la utilización del 5.65 % (1.081 GWh) de la energía para clientes regulados en alumbrado público; además, corresponde el 16.78% que requiere el sector industrial para su funcionamiento y también es el 21.35% de energía que requiere el sector comercial, ver tabla 2.22 de [28]; por último, en comparación con el año 2014 se tenía previsto un incremento del 5.67 % en el consumo de energía en alumbrado público para el 2015.

2.7.2. Efectos astronómicos

A los astrónomos les preocupa las dificultades que se están presentando al momento de leer y ver las actividades en el cielo y el espacio exterior, también se está perdiendo la maravillosa

vista del cielo oscuro con estrellas y otros objetos espaciales que antes se los podía apreciar sin ninguna dificultad.

2.7.3. Efectos en la salud del ser humano

Uno de los principales efectos que sufre el hombre es el deslumbramiento ya que provoca fatiga visual, pérdida de la visión y el estrés producto del fulgor y de las luces intrusas. Otro de los resultados de la contaminación lumínica es la distorsión de su ciclo circadiano, este se produce por las largas exposiciones a la luz artificial nocturna de manera especial a la porción azul del espectro luminoso ya que ocasiona la supresión de la producción de la hormona melatonina. La melatonina, en los seres humanos, influye en el ciclo sueño – vigilia y desempeña un papel importante en el sistema inmune, [29].

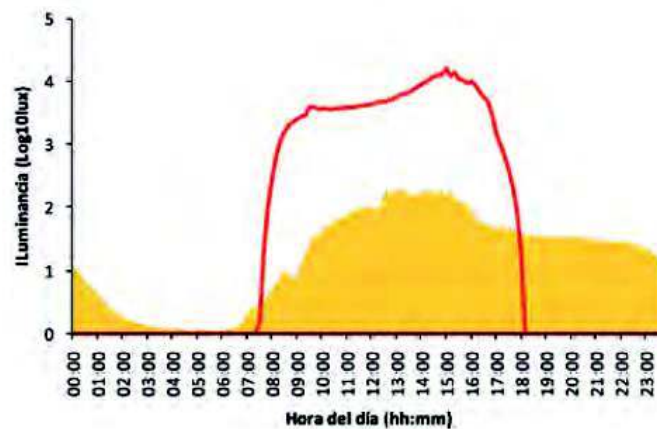


Figura 2.31. Patrón de iluminación circadiano (la línea roja señala el fotoperiodo natural).

(Fuente: M.^a Ángeles Rol de Lama, 2011)

2.7.4. Fauna silvestre

Muchos insectos, aves, mamíferos y reptiles son de naturaleza fotoperiódica. Por ejemplo, las tortugas marinas, muchos aspectos de su fisiología y comportamiento están influenciados por ritmos diurnos y circadianos, esto significa que su alimentación, apareamiento, crecimiento, desarrollo, movimiento y otras actividades están relacionados con el equilibrio entre el día y la noche. Las luces artificiales, incluso en pequeñas cantidades pueden distorsionar su ciclo natural, [30]. Otro ejemplo es el de miles de ciervos y otros animales que son asesinados en las

carreteras por los vehículos, porque el resplandor de estos coches les ciega y no pueden salir de las vías antes de ser derribados.

2.7.5. Influencia de la luz en el crecimiento de las plantas

El crecimiento de las plantas depende del constante aporte de compuestos orgánicos. Estos compuestos se forman por la fotosíntesis (asimilación del bióxido de carbono), proceso biológico que puede tener lugar solamente en presencia de la energía radiante, es decir, la luz; esta energía puede obtenerse de fuentes naturales, artificiales o de una combinación de las dos.

La luz artificial, así como la solar, debe abarcar todos los colores del espectro ya que el color es lo que determina el tipo de crecimiento de la planta a este fenómeno se lo conoce como fotomorfogénesis. En general, la luz roja produce plantas de tallo más largo, mientras que los colores azules producen un crecimiento formativo. El comienzo de la floración está controlado por el período de la luz llamado también fotoperiodismo [31]. Al respecto, las plantas pueden distinguirse de la siguiente manera:

- Plantas de “día corto”, no florecen si el periodo de luz del día sobrepasa cierto valor crítico por ejemplo los crisantemos, ciertas clases de tabaco (*nicotiana tabacum*), soja (*glycine max*), las dalias, las judías, las fresas.
- Plantas de “día largo”, estas florecen solamente si el periodo de luz diurna sobrepasa cierto valor crítico, como la campánula *isophylla*, la espinaca, algunas variedades de papas, algunas variedades de trigo, los gladiolos, los lirios, la lechuga.
- Plantas “neutras al día”, no está afectada por el periodo diurno como, por ejemplo, los tomates, el pepino, el girasol, el arroz, el guisante, algunas variedades de tabaco.

2.8. Calificación energética

Las instalaciones de alumbrado exterior deben cumplir los siguientes objetivos para que sea calificado como energéticamente eficiente:

- Deben mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

Para determinar si los circuitos de iluminación son energéticamente eficientes las instalaciones consideradas en este proyecto se basará en [5].

La eficiencia energética (ϵ) de una instalación se define en [32] y cuya expresión es:

$$\epsilon = \frac{S * E_m}{P} \left(\frac{m^2 * lux}{W} \right) \quad (2.1)$$

Siendo:

- ϵ = Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior (m^2*lux/W)
- P = Potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares) (W)
- S = Superficie iluminada (m^2)
- E_m = Iluminancia media de la instalación (lux).

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrados de señales y anuncios luminosos y festivos navideños, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética.

2.8.1. Instalaciones de alumbrado vial funcional

Se refiere a las instalaciones de alumbrado vial de autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas.

Tabla 2.1. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional.

Iluminancia Media en Servicio $E_m (lux)$	Eficiencia Energética Mínima $\left(\frac{m^2 * lux}{W} \right)$
≥ 30	22
25	20
20	17.5
15	15
10	12
≤ 7.5	9.5

(Fuente: ITC-EA-01, 2013)

Las instalaciones de alumbrado vial funcional, con independencia del tipo de lámpara, pavimento y de las características o geometría de la instalación, deberán cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética que se fijaron en la tabla 2.1.

2.8.2. Instalaciones de alumbrado vial ambiental

Se refiere a aquellas instalaciones de alumbrado vial de aceras, zonas peatonales, etc., [32].

Tabla 2.2. Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial ambiental.

Iluminancia Media en Servicio E_m (lux)	Eficiencia Energética Mínima $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$
≥ 20	9
15	7.5
10	6
7.5	5
≤ 5	3.5

(Fuente: ITC-EA-01, 2013)

2.8.3. Índice de Eficiencia Energética

El índice de eficiencia energética, es un indicativo que muestra que tan eficiente es el comportamiento de un circuito de iluminación exterior; la ecuación que define a este índice se muestra a continuación, [32]:

$$I_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} \quad (2.2)$$

Siendo:

I_{ε} = Índice de eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior;

ε = Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior

ε_R = Eficiencia energética de referencia

En la siguiente tabla se puede observar los valores de eficiencia energética de referencia:

Tabla 2.3. Valores de eficiencia energética de referencia.

Alumbrado vial funcional		Alumbrado vial ambiental y otras instalaciones de alumbrado	
Iluminancia media en servicio proyectada $E_m(lux)$	Eficiencia energética de referencia $\varepsilon_R \left(\frac{m^2 \cdot lux}{W} \right)$	Iluminancia media en servicio proyectada $E_m(lux)$	Eficiencia energética de referencia $\varepsilon_R \left(\frac{m^2 \cdot lux}{W} \right)$
≥ 30	32	-	-
25	29	-	-
20	26	≥ 20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
≤ 7.5	14	7.5	7
-	-	≤ 5	5

(Fuente: ITC-EA-01, 2013)

2.8.4. Índice de Consumo Energético (ICE)

El índice de consumo energético (ICE) es un rango que sirve para señalar que tan eficiente (menos consumo de energía) es una instalación, [32].

$$ICE = \frac{1}{I_\varepsilon} \quad (2.3)$$

Siendo:

ICE = Índice de consumo energético

I_ε = Índice de eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior.

2.8.5. Calificación energética de las instalaciones de alumbrado

La calificación energética se expresa a través de varios indicadores que permiten explicar las razones de un buen o mal comportamiento energético.

La calificación energética de una instalación de alumbrado se efectuará para cada sección vial de idénticas características geométricas, luminotécnicas y de distribución de los puntos de luz.

Tabla 2.4. Calificación energética de una instalación de alumbrado.

Calificación Energética	Índice de Consumo Energético	Índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0.91$	$I_e > 1.1$
B	$0.91 \leq ICE < 1.09$	$1.1 \geq I_e > 0.92$
C	$1.09 \leq ICE < 1.35$	$0.92 \geq I_e > 0.74$
D	$1.35 \leq ICE < 1.79$	$0.74 \geq I_e > 0.56$
E	$1.79 \leq ICE < 2.63$	$0.56 \geq I_e > 0.38$
F	$2.63 \leq ICE < 5.00$	$0.38 \geq I_e > 0.20$
G	$ICE \geq 5.00$	$I_e \leq 0.20$

(Fuente: ITC-EA-01, 2013)

Luego de determinada la calificación energética de la instalación se procede a colocar la etiqueta que mide el consumo energético, de acuerdo al modelo que se indica a continuación:



Figura 2.32. Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado.

(Fuente: ITC-EA-01, 2013)

3. LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL BAJO ESTUDIO

3.1. Levantamiento del sistema actual bajo estudio

El mapa de contaminación lumínica mundial se trata de un mapamundi tipo BING (mapa web que se utiliza para el buscador BING de Microsoft); tiene la peculiaridad de mostrar el avance de la contaminación lumínica en el globo terráqueo, [2]; este mapa fue desarrollado en base a los datos suministrados por [33]. Las zonas afectadas se marcan con diversos colores dependiendo del grado de contaminación, tal como se puede mirar en la Figura 3.1 obtenida de [2], se puede concluir que un color rojo muestra un lugar de alta contaminación debido a su alto grado de radiación y un color negro correspondiente a un lugar de nula contaminación lumínica por su bajo nivel de radiación. Este mapa muestra el avance de la contaminación lumínica mundial a partir del año 2010.



Figura 3.1. Niveles de radiancia.

(Fuente: www.lightpollutionmap.info, 2017)

En la Figura 3.2 se pueden observar los sectores del Ecuador que se encuentran mayormente afectados por la contaminación luminosa según [2], las principales ciudades que presentan este fenómeno son: Quito, Guayaquil, Cuenca, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Manta, Portoviejo, Nueva Loja, Shushufindi, La Joya de los Sachas.



Figura 3.2. Mapa de contaminación lumínica del Ecuador.

(Fuente: www.lightpollutionmap.info, 2017)

La República del Ecuador se halla situada en la costa noroccidental de América del Sur, en la zona tórrida del continente americano. La parte continental se ubica entre los paralelos 01°30' N y 03°23.5' S y los meridianos 75°12' W y 81°00' W. La ciudad de Quito, capital del Ecuador, se encuentra a una altura promedio de 2820 metros sobre el nivel del mar; su temperatura oscila entre 7°C en las noches y 26 °C al medio día; teniendo un promedio de 15 °C; la ciudad se asienta en la hoya de Guayllabamba en las laderas occidentales del volcán Pichincha en la parte oriental de los Andes [34]. La ciudad de Quito tiene una población de más 2.2 millones de habitantes según el censo del 2010 [35].

De acuerdo a la Figura 3.2 se puede observar que la Ciudad de Quito es uno de los principales focos de contaminación luminosa del Ecuador; a continuación se procede a buscar que sector de esta ciudad posee un alto índice de contaminación lumínica encontrándose que se tiene en el corazón de la ciudad el mayor grado de contaminación luminosa, ver Figura 3.3.

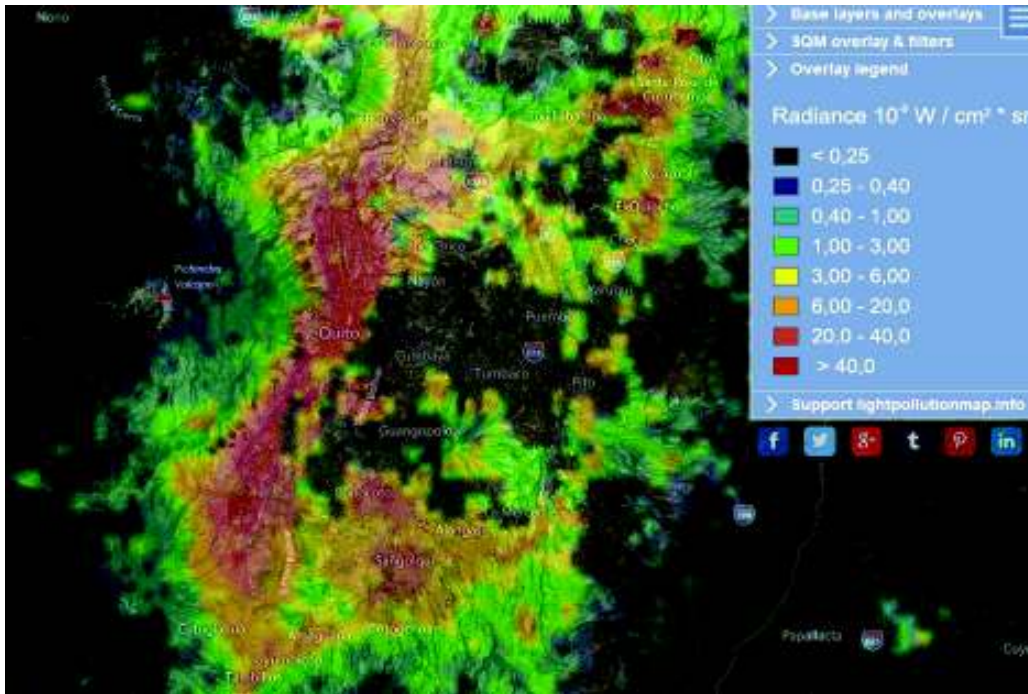


Figura 3.3. Contaminación luminosa de la ciudad de Quito.

(Fuente: <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=10&lat=-23216&lon=-8740952&layers=0BTFFFFF>, 2017)

Considerando la Figura 3.3 se puede observar que el sector de mayor grado de contaminación de la Ciudad de Quito se extiende de acuerdo a la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Zona de contaminación lumínica de la Ciudad de Quito.

	Vía
Norte	Av. Jaime Roldós Aguilera
Sur	Av. Morán Valverde
Este	Av. Eloy Alfaro, Av. 6 de Diciembre, Av. Pedro Vicente Maldonado
Oeste	Av. Manuel Córdova Galarza, Av. Mariscal Sucre

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Luego de ubicar el área que contiene mayor contaminación lumínica en la Ciudad de Quito, se procede a definir el área o polígono que será la elegido para el estudio y considerando que se necesita determinar los niveles de iluminación promedio de varias calles y avenidas, esto último, para poder realizar la calificación energética por lo tanto se va utilizar el trabajo de los ingenieros Brito y Chango, el cual contiene los niveles de iluminación puntual de varias calles y avenidas las mismas que se encuentran dentro del área de mayor contaminación lumínica, ver Figura 3.4, [4]:

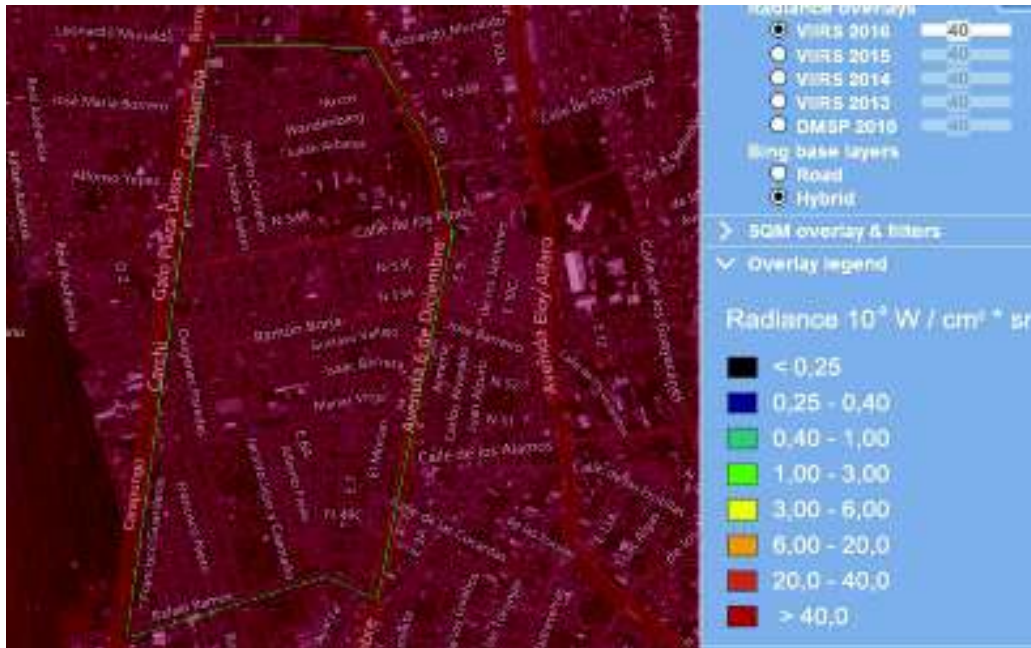


Figura 3.4. Polígono seleccionado para medición de contaminación lumínica.

(Fuente: www.lightpollutionmap.info/#zoom=14&lat=-15781&lon=-8736678&layers=0BFFFFTF, 2017)

De la Figura 3.4 se desprende que el polígono seleccionado se encuentra limitado por las calles y avenidas enumeradas en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2. Polígono seleccionado para medición de contaminación lumínica.

Vía	
Norte	Av. Leonardo Murialdo
Sur	Av. Rafael Ramos
Este	Av. 6 de Diciembre
Oeste	Av. Galo Plaza Lasso

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Los parámetros que se siguieron para elegir las vías en el polígono, según [4], son:

- Riesgos para el personal,
- Riesgos para los equipos, y
- La posibilidad del hacer el cierre de las vías seleccionadas.

Por lo señalado anteriormente las calles y avenidas a ser utilizadas para la elaboración de este proyecto se citan en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3. Calles y avenidas para medición de contaminación lumínica.

Ítem	Calle o Avenida	Número de Vías
1	N57B Gabriel Araujo	Una
2	N54 De los Pinos	Doble
3	N53 Cap. Ramón Borja	Doble
4	E3D Luis Banderas	Una
5	E4 Diógenes Paredes	Una
6	N52 Av. de los Algarrobos	Doble
7	E2B Carlos Andrade Marín	Una
8	E2C Crisóstomo Castelli	Una
9	N49 Aparicio Rivadeneira	Una

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

A continuación, se va a describir cada una de ellas, tomando en consideración los datos aportados en el ANEXO 1 de este proyecto:

3.1.1. Calle N57B Gabriel Araujo

La calle N57B Gabriel Araujo, ver Figura 3.5, es una calle de una sola vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Cerbelión Urbina y Carlos Bustamante.



Figura 3.5. Calle N57B Gabriel Araujo.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Esta calle posee tres postes con una luminaria, cada una del tipo HPS de 150 W ubicadas en postes de 11.5 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial no se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que puedan aportar al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M4 [4].

3.1.2. Calle N54 De Los Pinos

La calle N54 De Los Pinos, ver Figura 3.6, es una calle de doble vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Julio Teodoro Salem y Gonzalo Zaldumbide.



Figura 3.6. Calle N54 De Los Pinos.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Esta calle posee cinco postes cada uno con una luminaria tipo HPS de 250 W ubicadas en postes de 11.5 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial-comercial se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M1, [4].

La calle N54 De Los Pinos posee 13 rótulos luminosos con lámparas fluorescentes de 36 W, se incluye además 3 luminarias tipo cabeza de cobra con lámparas HPS de 100 W.

3.1.3. Calle N53 Cap. Ramón Borja

La calle N53 Cap. Ramón Borja, ver Figura 3.7, es una calle de doble vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Víctor Mideros y Gerardo Chiriboga.



Figura 3.7. Calle N53 Cap. Ramón Borja.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Esta calle posee dos postes cada uno con una luminaria tipo HPS de 250 W ubicadas en postes de 11.5 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial-comercial se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M2, [4].

El tramo seleccionado de la calle N53 Cap. Ramón Borja posee 7 rótulos luminosos con lámparas fluorescentes de 36 W, se incluye además 1 reflector con una lámpara HPS de 400 W.

3.1.4. Calle E3D Luis Banderas

La calle E3D Luis Banderas, ver Figura 3.8, es una calle de una vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Cap. Ramón Borja y Av. De Los Algarrobos.

Esta calle posee cinco postes cada uno con una luminaria tipo HPS de 150 W ubicadas en postes de 11.5 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial no se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía; pero tiene instalados 15 luminarias tipo farol con lámparas fluorescentes de 28 W en una disposición de tresbolillo. La clase de iluminación de esta vía es M5, [4].



Figura 3.8. Calle E3D Luis Banderas.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

3.1.5. Calle E4 Diógenes Paredes

La calle E4 Diógenes Paredes, ver Figura 3.9, es una calle de una vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Cap. Ramón Borja y Av. De Los Algarrobos.



Figura 3.9. Calle E4 Diógenes Paredes.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Esta calle posee cinco postes cada uno con una luminaria tipo HPS de 250 W ubicadas en postes de 11.5 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial no se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M4, [4].

3.1.6. Avenida N52 De Los Algarrobos

La avenida N52 De Los Algarrobos, ver Figura 3.10, es una calle de doble vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Zoila Ugarte y Remigio Romero y Cordero.



Figura 3.10. Avenida N52 De Los Algarrobos.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Esta calle posee dos postes cada uno con dos luminaria tipo HPS de 250 W ubicadas en postes de 13 metros de altura, [36], y tienen una disposición central; como se trata de una avenida de un sector residencial no se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M3, [4].

3.1.7. Calle E2B Carlos Andrade Marín

La calle E2B Carlos Andrade Marín, ver Figura 3.11, es una calle de una vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Abelardo Montalvo y Aparicio Rivadeneira.



Figura 3.11. Calle E2B Carlos Andrade Marín.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Esta calle posee tres postes cada uno con una luminaria del tipo HPS de 100 W ubicadas en postes de 9 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial no se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M5, [4].

3.1.8. Calle E2C Crisóstomo Castelli

La calle E2C Crisóstomo Castelli, ver Figura 3.12, es una calle de una vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Abelardo Montalvo y Aparicio Rivadeneira.

Esta calle posee cuatro postes cada uno con una luminaria del tipo HPS de 100 W ubicadas en postes de 11.5 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial no se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M5, [4].



Figura 3.12. Calle E2C Crisóstomo Castelli.
(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

3.1.9. Calle N49 Aparicio Rivadeneira

La calle N49 Aparicio Rivadeneira, ver Figura 3.13, es una calle de una vía; las mediciones de nivel de iluminación, [4], y de contaminación luminosa se realizaron entre las calles Carlos Andrade Marín y Crisóstomo Castelli.



Figura 3.13. Calle N49 Aparicio Rivadeneira.
(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Esta calle posee dos postes cada uno con una luminaria del tipo HPS de 100 W ubicadas en postes de 11.5 metros de altura, [36], y tienen una disposición unilateral; como se trata de una calle de un sector residencial no se observan rótulos luminosos o luminarias exteriores que aportan al nivel de iluminación de la vía. La clase de iluminación de esta vía es M4, [4].

4. MEDICIÓN Y MAPEO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

4.1. Medición y mapeo del nivel de contaminación lumínica

En este capítulo se van a presentar los resultados de las mediciones de contaminación lumínica y también se mostrará la calificación energética de las calles y avenidas intervenidas en este proyecto.

El instrumento que se ha utilizado para realizar las mediciones de contaminación lumínica fue un SQM-L (Sky Quality Meter with Lens) [11,37].



Figura 4.1. Medidor SQM.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Una definición clara de lo que es la contaminación lumínica es la que se cita a continuación: “Es la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas con intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona donde se han instalado las luces” [38].

El presente trabajo busca documentar cuantitativamente el brillo del cielo nocturno, en un polígono del norte de la ciudad de Quito, la tecnología a ser utilizada es un SQM-L y con los resultados obtenidos se busca abordar el problema de la contaminación lumínica.

4.2. Método de recolección de datos

Todas las mediciones del brillo del cielo se las obtuvieron usando el Medidor de Calidad del Cielo (SQM-L, modelo: 2.19, serie: 0168) este detector está equipado con un sensor de luz TSL237 que proporciona, a un microcontrolador, la información del rayo de luz para que sea procesada; también cuenta con un sensor de temperatura que es el encargado de compensar las lecturas del sensor de luz para diversas temperaturas de funcionamiento; este equipo posee una lente estrecha para una observación completa de 20° y mide el brillo del cielo en luz visible (de azul a rojo) en Mag/arc*s² (MPSAS), además determina la temperatura ambiente en °C y °F, [11].



Figura 4.2. Lente de medición del SQM-L.

(Fuente: Fotografía propia del autor, 2017)

Las lecturas del SQM-L pueden ser relacionadas con la luminancia o brillo con ayuda de la siguiente igualdad [39]:

$$\frac{cd}{m^2} = 10.8 * 10^4 * 10^{(-0.4 * MPSAS)} \quad (4.1)$$

El principio de funcionamiento de este equipo considera el hecho de que posee un detector que cuenta los fotones entrantes y muestra el resultado en las unidades MPSAS (mag/arc*s²). Estos fotones provienen de fuentes combinadas de luz natural (como la luna, las estrellas y la luz artificial (como el brillo del cielo)). La intención es medir la luz combinada y sugerir cuánto es atribuible a fuentes no naturales (contaminación lumínica) por encima y más allá del brillo natural del cielo nocturno. El rango de medición del SQM-L va desde el valor 16 hasta el valor 21 MPSAS (mag/arc s²), ver Figura 4.3, [6]. Estos valores se pueden relacionar a valores utilizados en

astronomía que es la magnitud límite estelar (MALE), que se define como: la magnitud de la estrella más débil que puede observarse a simple vista dadas unas determinadas condiciones ambientales.



Figura 4.3. Rango de medición del SQM-L.

(Fuente: http://www.unihedron.com/projects/sqm-l/Instruction_sheet.pdf, 2008)

En la Figura 4.4 se puede observar a cada uno de los valores que aparecen en la Figura 4.3 y que son relacionados con un cielo cuyo brillo de fondo de cielo fuera precisamente el de una estrella con una magnitud aparente de ese valor, [40]. En la Figura 4.4 se observa que el valor más bajo (16) corresponde a cielos con alta contaminación lumínica y el valor más alto (22) con cielos altamente oscuros.

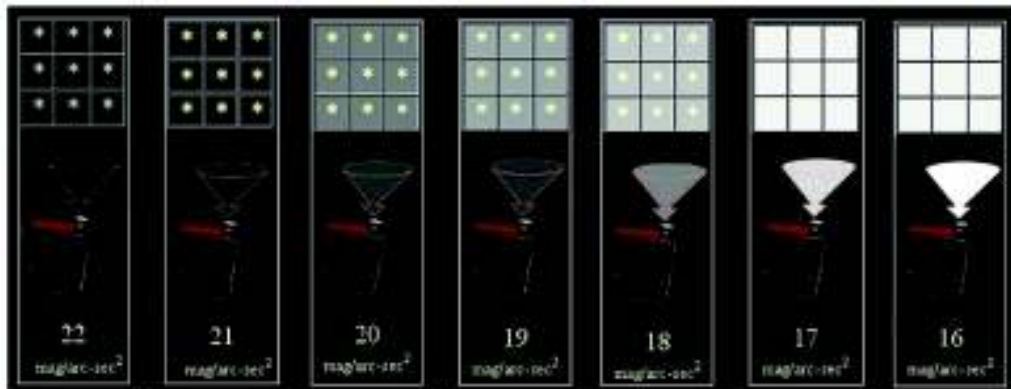


Figura 4.4. Brillo del cielo en función del rango de medición del SQM-L.

(Fuente: <http://www.astronom.net/astronom/temas/sqm/sqm.htm>, 2017)

Para realizar las mediciones correctamente se debe seguir el siguiente procedimiento [41]:

1. En primer lugar se debe localizar las coordenadas exactas del sector donde se van a realizar las mediciones para lo cual se pueden utilizar los siguientes métodos:
 - a. Un equipo de geo-referencias (GPS)
 - b. Utilizar mapas electrónicos por ejemplo GOOGLE MAP

- c. Utilizar un mapa topográfico.
2. Las mediciones se deben realizar después de la puesta del sol (alrededor de las 7 – 10 pm), además se deben considerar los siguientes aspectos:
- a. Las mediciones se deben tomar en una noche clara cuando la luna se encuentra en su fase nueva y el sol se ha ocultado por lo menos una hora, esto se debe a que el sol y la luna influyen en las mediciones tomadas por el SQM-L.
 - b. Es recomendable, también, esperar hasta después del crepúsculo para obtener oscuridad total; para lograr este objetivo es necesario conocer los tiempos en que aparece el crepúsculo y las fases lunares.
 - c. Como el SQM-L depende en algo de la temperatura ambiente, se requiere dejar este equipo a la intemperie al menos 5 minutos para que pueda alcanzar la temperatura ambiente y de este modo empezar a realizar las mediciones.
 - d. Hay que evitar utilizar el SQM-L cerca de luces como farolas y en áreas que están sombreadas por árboles o edificios para lo cual el equipo de medición debe ser colocado al menos a una distancia mostrada en la siguiente figura [42]:
3. En la Figura 4.6 se puede observar que varios países del mundo están utilizando las mediciones del SQM para determinar el grado de contaminación lumínica en sus regiones, cabe destacar que en Sudamérica son contados los países que utilizan estos equipos para medición, [2].



Figura 4.5. Cono de medición del SQM-L.

(Fuente: http://www.juntadeandalucia.es/turismoydeporte/export/sites/ctc/delegaciones-provinciales/granada/galleries/descargas-granada/Medicion_brillo_cielo_J_Zamorano.pdf, 2017)



Figura 4.6. Ubicación de SQM en el mundo.

(Fuente: <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=1&lat=1660314&lon=0&layers=B0TFFFFFTT>, 2017)

4.3. Medición de contaminación lumínica

Considerando el polígono seleccionado y el cual se puede apreciar en la Figura 4.7, se procede a realizar las mediciones de contaminación lumínica utilizando el SQM-L; con el fin de obtener los resultados esperados inicialmente se deben tomar los recaudos señalados en el numeral 2 de la sección 4.2 de este documento de la siguiente manera:

Luego de haber localizado el sector elegido, se procede a buscar el momento en que las condiciones climáticas de la Ciudad de Quito ofrezcan las facilidades para obtener unas mediciones óptimas.

De acuerdo a [43] se tiene que los días más favorables para realizar las mediciones son el 25, 26 y 27 de mayo de 2017; considerando que las condiciones climáticas, señaladas en [44], son buenas se puede realizar las mediciones buscadas.

Tabla 4.1. Calles y avenidas seleccionadas.

Ítem	Calle o Avenida
1	N57B Gabriel Araujo
2	N54 De los Pinos
3	N53 Cap. Ramón Borja
4	E3D Luis Banderas
5	E4 Diógenes Paredes
6	N52 Av. de los Algarrobos
7	E2B Carlos Andrade Marín
8	E2C Crisóstomo Castelli
9	N49 Aparicio Rivadeneira

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Los resultados obtenidos se presentan de la siguiente manera:

Tabla 4.2. Medición de contaminación el día 25 de Mayo de 2017.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Mag/arc*s ²	cd/m ²
1	Calle N57B Gabriel Araujo	14,56	0,161
2	Calle N54 de Los Pinos	14,95	0,113
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	14,65	0,149
4	Calle E3D Luis Banderas	16,08	0,040
5	Calle E4 Diógenes Paredes	15,00	0,108
6	Calle N52 De los Algarrobos	14,52	0,168
		14,83	0,126
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	15,13	0,096
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	14,30	0,205
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	14,77	0,133

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Tabla 4.3. Medición de contaminación el día 26 de Mayo de 2017.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Mag/arc s ²	cd/m ²
1	Calle N57B Gabriel Araujo	16,17	0,037
2	Calle N54 de Los Pinos	14,97	0,111
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	15,48	0,070
4	Calle E3D Luis Banderas	16,15	0,037
5	Calle E4 Diógenes Paredes	15,57	0,064
6	Calle N52 De los Algarrobos	15,43	0,072
		15,81	0,051
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	15,48	0,070
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	15,38	0,076
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	14,74	0,138

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

De las tablas 4.2 y 4.3 se puede sacar un valor promedio el cual servirá para señalar el valor de contaminación lumínica existente en el polígono mostrado en la Figura 4.7 obteniéndose un valor de 15.2 mag/arc*s²; y utilizando los datos de [3] se puede observar los resultados en las figuras 4.8 y 4.9.

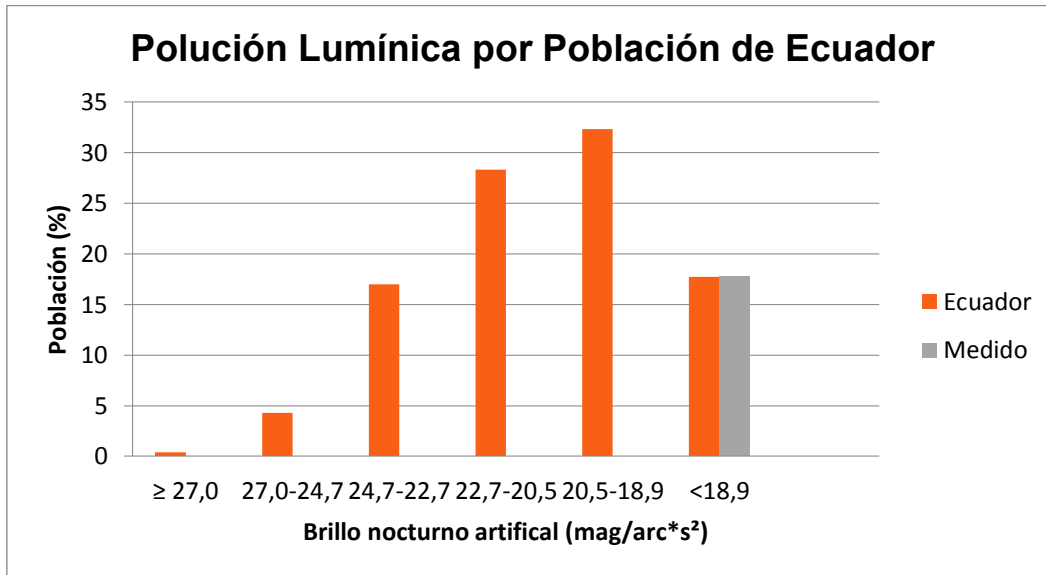


Figura 4.8. Polución lumínica en Ecuador de acuerdo al porcentaje de población.
(Fuente: F. Falchi et al, 2016)

De la Figura 4.8 se puede observar que la población que se encuentra en las calles seleccionadas en el polígono mostrado en la Figura 4.7 se halla ubicada en el grupo de ecuatorianos que reciben el mayor grado de contaminación lumínica del país.



Figura 4.9. Polución lumínica de acuerdo a la extensión de Ecuador.
(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Considerando la Figura 4.9 se puede observar que las vías seleccionadas del polígono visto en la Figura 4.7 se encuentran dentro del área de mayor contaminación lumínica del Ecuador.

De la información obtenida de [2] y considerando los resultados del censo de población mostrado en [45] se obtuvo la siguiente figura:

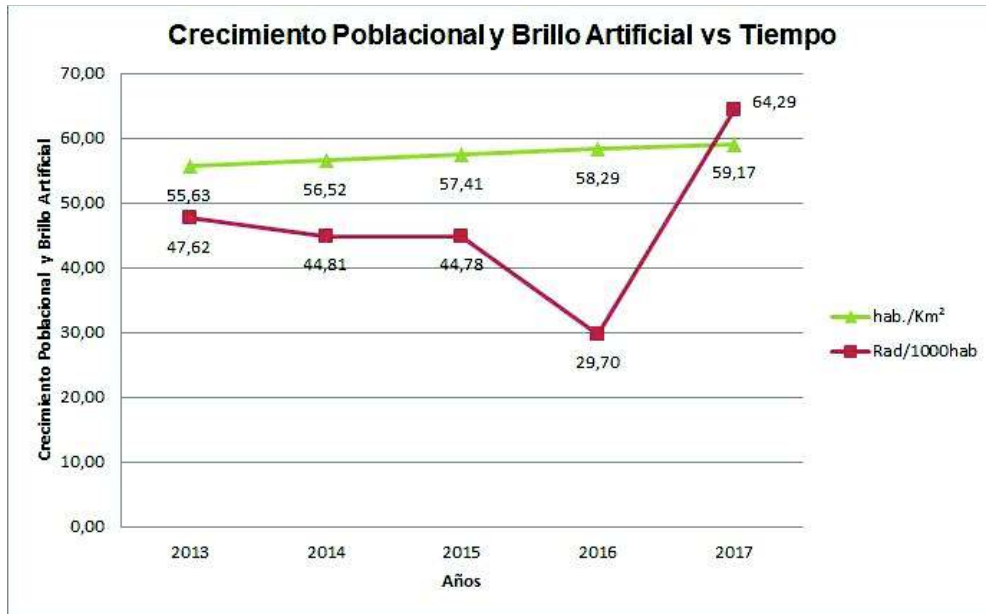


Figura 4.10. Crecimiento Poblacional y Brillo del Cielo vs Tiempo.

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

En la Figura 4.10 se observa que existe un incremento sostenido en la población ecuatoriana siendo que para el año 2017 se considera que habrá 64.29 hab/km² pero también se advierte que en el año 2016 se tuvo una considerable reducción del brillo en los cielos de Ecuador pero para el año 2017 se espera un repunte sostenido llegando a valores de 64.29 Rad/1000 hab., esto obliga a que se debe poner en práctica una campaña para dar a conocer los efectos perjudiciales que va a tener a un futuro no muy lejano la población ecuatoriana y de manera especial aquellas personas que se encuentran en sectores de alta contaminación luminosa.

4.4. Medición de la iluminación promedio

Para determinar el nivel de iluminación media de las calles y avenidas, en estudio, se tomarán las mediciones puntuales realizadas en [4], la misma que siguen los procedimientos de medición señalados en [7], con los valores vistos en la Figura 4.11, se procede a tabular todos los valores registrados para obtener su valor medio:

		Poste 1										Poste 2		
Datos:		ILUMINANCIA												
W:	4.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
S:	35	C	44.6	40.6	38.24	37.76	36.61	35.6	35.67	36.42	36.5	37.27	38.52	43.8
d:	1.5	B	39.4	38.5	37.89	36.54	35.47	31.7	28.68	30.54	31.9	33.74	36.71	39.75
d/2:	0.75	A	35.2	34.6	31.82	27.89	25.47	23.7	24.68	27.64	28.7	29.54	34.68	34.87
N:	12	C	30.6	29.4	26.54	24.68	23.54	22.7	21.8	24.68	25.7	26.87	28.47	31.87
D:	2.92	B	26.9	26.5	24.68	21.63	19.58	18.9	18.64	19.68	20.8	23.4	24.68	27.9
D/2:	1.46	A	21.7	20.6	19.23	18.6	17.98	16.8	17.94	18.97	19.7	21.14	22.7	23.67

Figura 4.11. Prueba de datos Calle N54 De Los Pinos.

(Fuente: Brito y Chango, 2016)

Tabla 4.4. Iluminación promedio.

ITEM	DESCRIPCIÓN	LUX
1	Calle N57B Gabriel Araujo	16,71
2	Calle N54 de Los Pinos	28,76
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	32,74
4	Calle E3D Luis Banderas	22,69
5	Calle E4 Diógenes Paredes	25,22
6	Calle N52 De los Algarrobos	23,55
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	23,64
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	24,84
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	28,56

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

4.5. Calificación energética

Para determinar la calificación energética, de las vías en estudio, en primer lugar se procede a clasificar las vías en la cual se detalla parámetros como: tipo de vía de acuerdo al uso, nivel de iluminación, velocidad, etc.

En [4] se utilizó el criterio señalado en [46] para determinar la clasificación vial pero como se trata de un método orientativo que sirve como una referencia rápida para el diseñador; en este documento se va a clasificar a las vías siguiendo el método señalado en [47], en la cual toma en cuenta los siguientes parámetros:

- La velocidad del tráfico rodado, por ejemplo: vías de moderada velocidad (30 km/h < V < 60 km/h), de esta forma se define de mejor manera la circulación vehicular.
- La disposición de las carreteras, tal como autopistas, el sentido de la circulación, interconexión con otras vías.

- Separación de los distintos tipos de usuarios, como: tráfico motorizado, ciclistas y peatones.

De este modo se logra obtener una determinación más cercana a la realidad. Cabe señalar que esta clasificación considera las distancias de seguridad o reconocimiento facial de las personas que viene de frente para un observador de 40 años, en función del nivel de iluminación de acuerdo a [47] son los siguientes:

- 4 m (distancia mínima para poder reaccionar ante una persona que pretende efectuar una agresión), con una iluminancia horizontal mínima de 5 luxes.
- 10 m, con una iluminancia horizontal de 20 luxes.
- El reconocimiento facial se obtiene en la totalidad de los casos cuando la iluminancia horizontal es de 25 luxes. No aumenta la identificación o reconocimiento facial a partir de 30 luxes de iluminancia horizontal.

Siguiendo lo señalado en [48] se procede a realizar la calificación energética de las vías de este proyecto.

En primer lugar se utiliza la Tabla 1 de [47], para definir la clasificación de las vías de circulación, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4.5. Clasificación de las vías.

Ítem	Calle	Clasif.	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
1	Calle N57B Gabriel Araujo	D	De moderada velocidad	30<V<60
2	Calle N54 de Los Pinos	B	De moderada velocidad	30<V<60
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	B	De moderada velocidad	30<V<60
4	Calle E3D Luis Banderas	B	De moderada velocidad	30<V<60
5	Calle E4 Diógenes Paredes	B	De moderada velocidad	30<V<60
6	Calle N52 De los Algarrobos	B	De moderada velocidad	30<V<60
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	B	De moderada velocidad	30<V<60
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	B	De moderada velocidad	30<V<60
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	B	De moderada velocidad	30<V<60

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

En segundo lugar se utiliza la Tabla 3 de [47], para definir la clase de alumbrado de las vías de circulación, obteniéndose los resultados de la Tabla 4.6:

Tabla 4.6. Clase de alumbrado para vías.

Ítem	Calle	Situación	Tipos de vías	Clase de alumbrado
1	Calle N57B Gabriel Araujo	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) < 7000	ME4b/ ME5/ME6
2	Calle N54 de Los Pinos	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) ≥ 7000	ME2/ ME3c
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) ≥ 7000	ME2/ ME3c
4	Calle E3D Luis Banderas	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) < 7000	ME4b/ ME5/ME6
5	Calle E4 Diógenes Paredes	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) < 7000	ME4b/ ME5/ME6
6	Calle N52 De los Algarrobos	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) ≥ 7000	ME2/ ME3c
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) < 7000	ME4b/ ME5/ME6
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) < 7000	ME4b/ ME5/ME6
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	B1	a) Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. b) Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas IMD (intensidad media de tráfico diario) ≥ 7000	ME2/ ME3c

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

De acuerdo a la Real Academia Española [49] se entiende como:

Zona residencial: Dicho de un área urbana, destinada principalmente a viviendas de cierta calidad.

Fincas: Propiedad inmueble, rustica y urbana.

Tabla 4.7. Niveles de luminancia e iluminancia.

Ítem	Calle	Clase	Luminancia e iluminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			
			Luminancia media Lm (cd/m ²)	Iluminancia media Im (lux)	Uniformidad global Uo (mínima)	Uniformidad Longitudinal U (mínima)
1	Calle N57B Gabriel Araujo	ME4b	0,75	11,25	0,4	0,5
2	Calle N54 de Los Pinos	ME2	1,5	22,5	0,4	0,7
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	ME2	1,5	22,5	0,4	0,7
4	Calle E3D Luis Banderas	ME4b	0,75	11,25	0,4	0,5
5	Calle E4 Diógenes Paredes	ME4b	0,75	11,25	0,4	0,5
6	Calle N52 De los Algarrobos	ME2	1,5	22,5	0,4	0,7
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	ME4b	0,75	11,25	0,4	0,5
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	ME4b	0,75	11,25	0,4	0,5
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	ME2	1,5	22,5	0,4	0,7

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

En la Tabla 4.8 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 4.8. Niveles de iluminación medidos.

Ítem	Calle	Iluminancia Medida (lux)	Iluminancia requerida (lux)	Exceso (lux)	Exceso (%)	Cumple (si/no)
1	Calle N57B Gabriel Araujo	16,71	11,25	5,46	48,54	NO
2	Calle N54 de Los Pinos	28,76	22,5	6,26	27,80	NO
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	32,74	22,5	10,24	45,50	SI
4	Calle E3D Luis Banderas	22,05	11,25	10,80	95,98	NO
5	Calle E4 Diógenes Paredes	24,85	11,25	13,60	120,87	NO
6	Calle N52 De los Algarrobos	23,55	22,5	1,05	4,65	SI
		25,53	22,5	3,03	13,45	SI
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	23,64	11,25	12,39	110,16	NO
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	24,84	11,25	13,59	120,84	NO
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	28,56	22,5	6,06	26,91%	SI

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

A continuación se precede a determinar los índices que son producto de las mediciones y cálculos realizados en este documento:

Tabla 4.9. Verificación de factor de uniformidad (Uo).

Ítem	Calle	Valor mínimo (lux)	Valor máximo (lux)	Uo (%)	Cumple (si/no)
1	Calle N57B Gabriel Araujo	4,6	44,6	27,53	NO
2	Calle N54 de Los Pinos	16,8	44,6	58,42	SI
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	16,8	46,89	51,32	SI
4	Calle E3D Luis Banderas	16,8	31,5	74,04	SI
5	Calle E4 Diógenes Paredes	9,14	39,19	36,24	SI
6	Calle N52 De los Algarrobos	5,08	68,5	21,58	NO
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	1,4	76,4	5,48	NO
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	8,01	48,6	33,88	NO
9	Calle E2C Crisóstomo Castelli	16,27	34,15	65,49	SI
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	12,3	56,4	43,07	SI

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

De la Tabla 4.9 se desprende que las calles Gabriel Araujo, De los Algarrobos y Carlos Andrade Marín no poseen una uniformidad adecuada superior al 40% esto se debe a que posiblemente los puntos de luz (luminarias) poseen una separación mayor a la adecuada, es decir, existen zonas intermedias con menores valores de iluminancia ocasionando que la relación entre iluminancia media con respecto a la iluminancia mínima se incremente.

Tabla 4.10. Determinación de factor de uniformidad longitudinal (UI).

Ítem	Calle	Valor mínimo centro de la calzada (lux)	Valor máximo centro de la calzada (lux)	UI	Cumple (si/no)
1	Calle N57B Gabriel Araujo	6,45	31,85	14,44%	NO
2	Calle N54 de Los Pinos	21,8	35,2	47,73%	NO
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	27,5	42	40,00%	NO
4	Calle E3D Luis Banderas	18,8	27,7	60,65%	SI
5	Calle E4 Diógenes Paredes	19,78	34,28	26,66%	NO
6	Calle N52 De los Algarrobos	12,3	61,2	8,30%	NO
6	Calle N52 De los Algarrobos	1,4	69,1	2,03%	NO
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	9,75	48,6	16,48%	NO
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	17,45	31,74	51,26%	SI
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	12,5	56,4	21,81%	NO

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Para determinar el factor de uniformidad longitudinal que se puede ver en a la Tabla 4.10, los valores serán aquellos obtenidos en el centro de la calzada, esto es debido a que se busca la comodidad visual del conductor según [7].

De la Tabla 4.10 se puede observar que solamente cumplen con este requisito las calles Luis banderas y Crisóstomo Castelli es decir estas vías brindan confortabilidad y buena sensación de visión de las personas que las utilizan.

Luego de determinadas las características de las vías se procede a calcular el valor de eficiencia energética, los datos a ser considerados son:

- El área (S) de la vía que será definido entre el ancho (calzada + aceras) y la medida de la separación entre dos luminarias, de acuerdo a lo señalado en [32]; los resultados de las mediciones se resumen en la Tabla 4.11:

Tabla 4.11. Dimensiones de las avenidas intervenidas.

Ítem	Calle	Ancho (m)		Ancho Total (m)	Longitud de la calle (m)	Separación entre luminarias (m)	S (m ²)
		Calzada (m)	Ancho (m)				
1	Calle N57B Gabriel Araujo	7,29	2,50	12,29	108,45	42,92	527,63
2	Calle N54 de Los Pinos	8,87	2,50	13,87	143,48	35,50	1990,55
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	8,97	2,50	13,97	50,00	41,23	575,85
4	Calle E3D Luis Banderas	7,05	2,50	12,05	150,98	37,75	455,04
5	Calle E4 Diógenes Paredes	6,89	2,50	11,89	146,59	36,66	435,71
6	Avenida N52 De los Algarrobos	7,59	2,50	12,59	50,50	35,24	443,79
		8,17	2,50	13,17	50,50	35,24	464,23
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	7,67	2,50	12,67	124,63	35,25	446,55
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	6,63	2,50	11,63	124,52	33,59	390,58
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	8,14	2,50	13,14	50,00	29,17	657,00

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

- Luego de obtenidas las medidas de las calles intervenidas se procede a determinar la potencia de cada luminaria que se encuentran dentro del área en estudio; cabe señalar que la potencia a ser utilizada debe ser la máxima consumida por la luminaria (lámpara y arrancador) y cuyo valor se encuentra

en la Tabla 2 de [50]. Para definir correctamente la potencia que servirá para la calificación del sistema se debe tomar en cuenta la configuración de los postes que sostienen a las luminarias en la vía [32].

Tabla 4.12. Número de Luminarias.

Ítem	Calle	Potencia de las luminarias (W)		Número de Luminarias			
		Lámpara	Conjunto	Lados	Interior	Configuración	Total
1	Calle N57B Gabriel Araujo	150	171	2	0	Unilateral	1
2	Calle N54 de Los Pinos	250	277	2	3	Unilateral	4
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	250	277	2	0	Unilateral	1
4	Calle E3D Luis Banderas	150	171	2	0	Unilateral	1
5	Calle E4 Diógenes Paredes	250	277	2	0	Unilateral	1
6	Calle N52 De los Algarrobos	250	277	2	0	Central	1
		250	277	2	0	Central	1
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	100	116	2	0	Unilateral	1
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	100	116	2	0	Unilateral	1
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	100	116	2	0	Unilateral	1

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Tabla 4.13. Potencia Instalada en las vías.

Ítem	Calle	Potencia de las vías (W)		
		Funcional	Ambiental	Total
1	Calle N57B Gabriel Araujo	171,0	0,0	171,0
2	Calle N54 de Los Pinos	1108,0	1302,0	2410,0
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	277,0	1296,0	1573,0
4	Calle E3D Luis Banderas	171,0	20,0	191,0
5	Calle E4 Diógenes Paredes	277,0	0,0	277,0
6	Calle N52 De los Algarrobos	277,0	0,0	277,0
		277,0	0,0	277,0
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	116,0	0,0	116,0
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	116,0	0,0	116,0
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	116,0	0,0	116,0

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

La Tabla 4.13 describe que varias vías se encuentran cubiertas por iluminación funcional y ambiental por lo que es necesario señalar cuanta potencia se consume por cada una de ellas, [32].

- Utilizando la ecuación 2.1 y con ayuda de los valores de la Tabla 4.11 (Dimensiones de las Avenidas Intervenidas), Tabla 4.4 (Iluminación Promedio) y Tabla 4.13 (Potencia Instalada en las Vías) se determina el valor de la eficiencia energética (ϵ) para las vías en estudio. La eficiencia energética mínima a alcanzar se obtiene interpolando los valores señalados en la Tabla 1 de [32] las cantidades obtenidas se encuentran tabuladas en la Tabla 4.14; en la quinta columna de esta tabla se comprueba si el sistema es funcional o no funcional esto se lo hace comparando la tercera y cuarta columna.

Tabla 4.14. Tipo de instalación de la vía.

Ítem	Calle	ϵ (m ² *lux/W)	Eficiencia Energética Mínima (m ² *lux/W)	Instalación
1	Calle N57B Gabriel Araujo	51,56	15,35	Funcional
2	Calle N54 de Los Pinos	23,75	21,88	Funcional
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	11,98	24,04	No Funcional
4	Calle E3D Luis Banderas	52,53	18,24	Funcional
5	Calle E4 Diógenes Paredes	39,08	19,76	Funcional
6	Calle N52 De los Algarrobos	37,72	19,05	Funcional
		42,78	20,13	Funcional
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	91,02	19,11	Funcional
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	83,65	19,76	Funcional
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	161,73	21,77	Funcional

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Como se puede apreciar en la Tabla 4.14 se observa que la iluminación vial de la calle N53 Cap. Ramón Borja no es funcional debido a que hay una excesiva instalación de luminarias reduciendo el valor de la eficiencia energética (ϵ).

Finalmente en la Tabla 4.15, con los valores obtenidos, se procede a determinar el índice de eficiencia energética (I_ϵ) y el índice de consumo energético (ICE) que permitirán clasificar energéticamente a las vías en estudio.

Tabla 4.15. Calificación energética de las vías.

Ítem	Descripción	ϵ (m ² *lux/W)	ϵR (m ² *lux/W)	ICE	I_{ϵ}	Calificación Energética
1	Calle N57B Gabriel Araujo	51,56	22,74	0,44	2,27	A
2	Calle N54 de Los Pinos	23,75	31,96	1,35	0,74	C
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	11,98	35,00	2,92	0,34	F
4	Calle E3D Luis Banderas	52,53	26,83	0,51	1,96	A
5	Calle E4 Diógenes Paredes	39,08	28,97	0,74	1,35	A
6	Calle N52 De los Algarrobos	37,72	27,97	0,74	1,35	A
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	42,78	29,49	0,69	1,45	A
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	91,02	28,05	0,31	3,25	A
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	83,65	28,97	0,35	2,89	A
		161,73	31,80	0,20	5,09	A

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

De acuerdo a los cálculos realizados se observa lo siguiente:

- Que las vías cuya eficiencia es de calificación A señala que se trata de una instalación de muy alto nivel de eficiencia;
- La calificación C señala que la vía es relativamente eficiente, y
- La vía con calificación F se trata de una carretera que presenta una iluminación exterior con alto consumo de energía, se decir se trata de una instalación ineficiente.

5. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

5.1. Propuestas de solución

En este capítulo se detallarán las principales propuestas de solución que se deben seguir en primer lugar a nivel de las instituciones gubernamentales para que realicen los correctivos necesarios en las normativas vigentes de alumbrado público del Ecuador para que considere también los efectos de la contaminación lumínica. Es importante también restringir, cuando se especifiquen las luminarias, el porcentaje de flujo luminoso que se escapa por sobre la horizontal de la luminaria. Las principales propuestas de solución que se deben seguir considerando los resultados obtenidos en la Tabla 4.2 en la que se observa que las vías seleccionadas pertenecen a un sector del Norte de la Ciudad de Quito con un alto grado de contaminación se citan a continuación.

5.1.1. Revisión de regulaciones

En Ecuador actualmente la normativa que hace referencia al servicio de alumbrado público es la Regulación CONELEC 005/14 la misma que reemplazó a la Regulación 008/11; esta norma señala que el alumbrado público es un “servicio” que debe ser regulado y controlado por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), [51].

- Si bien la Regulación CONELEC 005/14 trata de normar todo lo relacionado con el manejo correcto de los parámetros del alumbrado público en Ecuador; la normativa no señala los valores máximos a los cuales deba funcionar este sistema solamente muestra los valores mínimos de esta manera no hay control en la emisión excesiva de flujo luminoso; debería tomarse en cuenta lo señalado por [32] en el cual se limita el nivel de iluminación hasta un 20 % del valor determinado por el tipo de vía, con esta medida se tendrán circuitos de iluminación eficientes ya que solamente utilizarán la energía necesaria para su funcionamiento.
- Esta normativa también debería señalar que los equipos a ser utilizadas en iluminación de vías no generen flujo luminoso por sobre su horizontal para de esta forma reducir la contaminación lumínica.
- De forma general, esta Regulación también debería abarcar temas de control de contaminación lumínica.

5.1.2. Verificación de características de las luminarias

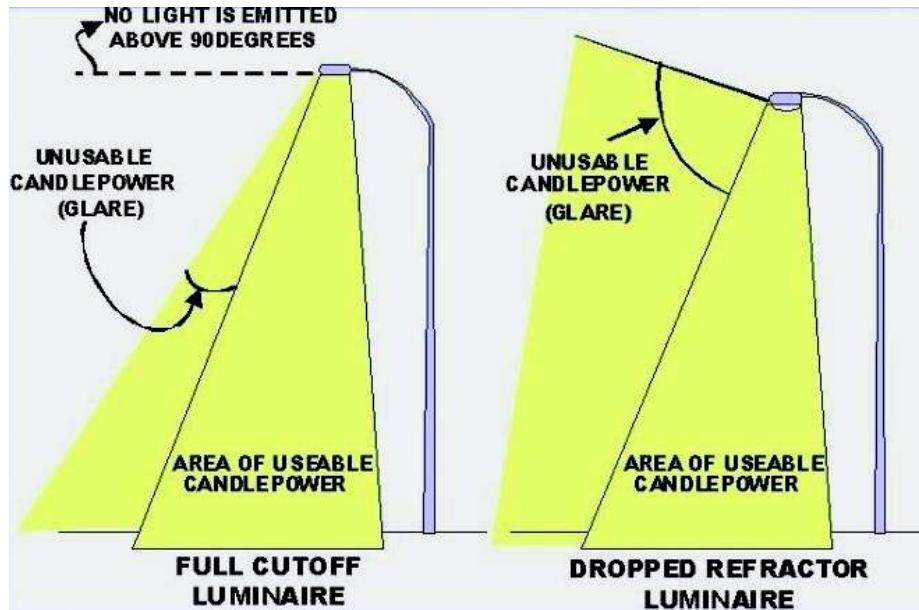
Otra variable que debería ser considerada es la luminaria a ser utilizada en la vía de acuerdo a las ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN de las Unidades de Propiedad no se regula el flujo luminoso hacia sectores fuera del área de trabajo, Figura 5.1, [52,53].



Figura 5.1. Luminaria ubicada en la calle N49 Aparicio Rivadeneira.

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

En la Figura 5.2 se puede observar las luminarias que actualmente se encuentran instaladas en la mayoría de vías de la ciudad y en la misma también se encuentra su contraparte, de este modo se podrá hacer un buen análisis entre ellas [54]. En el caso de iluminación de vías públicas se recomienda el uso de lámparas tubulares en luminarias tipo cut-off, Figura 5.2 (a). Estas luminarias poseen normalmente una cubierta de placa de cristal transparente plana y no irradian flujo en el hemisferio superior, sobre 90° . Actualmente las luminarias utilizadas están equipadas con una cubierta prismática, entonces el flujo superior tenderá a alcanzar los límites de regulación y se debe tener cuidado con respecto al tipo de lámpara, la posición y el ángulo de instalación de la luminaria ya que podría ocasionar que una buena parte del flujo luminoso no sea aprovechado de buena manera, ver Figura 5.2. (b).



(a)

(b)

Figura 5.2. Tipos de luminarias para vías.

(Fuente: S. Harder, 2017)

Las luminarias de estilo colonial son normalmente contaminantes y por lo tanto requieren ser modificados en términos de la posición de la lámpara y la textura de la cubierta. Estas lámparas deben estar ubicadas completamente ocultas por el techo y la cubierta debe ser transparente, pero esta condición no garantiza que, debido a los fenómenos de flujo total de reflexión, se desplace en dirección ascendente. Las luminarias de estilo colonial sin vidrio también están disponibles, y no dispersan ninguna luz hacia arriba, por lo que deben ser preferidos.



Figura 5.3. Luminarias ornamentales en la calle E3D Luis Banderas.

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

5.1.3. Reducción de luces intrusas

De acuerdo a lo señalado en la sección 2.5.3 se debe considerar buscar la mejor manera de reducir el efecto de las luces intrusas ya que es un elemento que influye en la contaminación lumínica; al momento de diseñar la iluminación vial se debe considerar como principal objetivo que todo el flujo luminoso emitido por las luminarias se dirija completamente dentro de la calzada para así evitar los potenciales problemas que se pueden apreciar en la Figura 5.4.

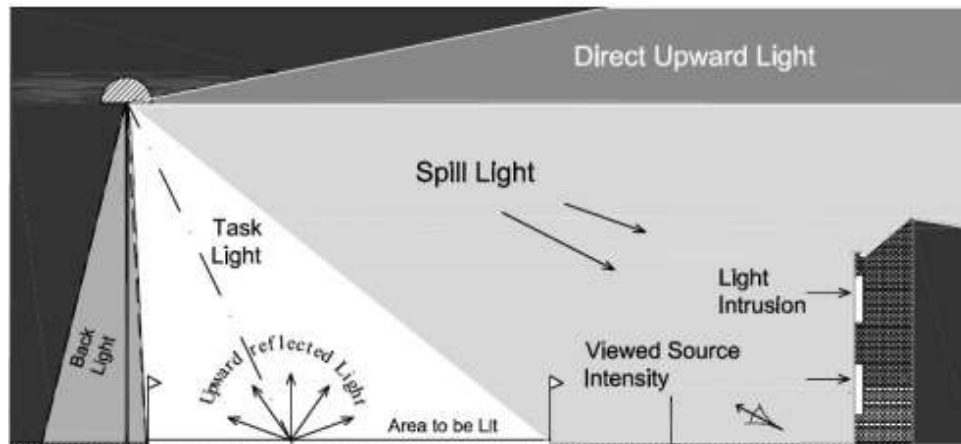


Figura 5.4. Tipos de luz intrusa.

(Fuente: Institution of Lighting Professionals, 2011)

5.1.4. Consideraciones de diseño de alumbrado público

Partiendo con la premisa: “Good Design equals Good Lighting”; es decir que para tener un sistema de iluminación energéticamente eficiente y que a su vez no genere contaminación lumínica se debe realizar un buen diseño para lo cual es necesario considerar los siguientes parámetros, [55].

a) Lámparas

La fuente luminosa es el primer parámetro que se debe considerar para poder iluminar las vías, ya que es el encargado de irradiar luz la misma que debe estar siempre dentro del espectro visual. Por lo tanto, NO es necesario que las fuentes de luz emitan radiación ultravioleta o infrarroja a menos que estén diseñadas para ese objetivo, es decir, esta luz debe ser capaz de permitir la realización de manera cómoda cualquier tipo de tarea [55,56]. Del espectro luminoso la luz de longitud de onda menor es el que mayores efectos tiene sobre la flora y fauna, por lo tanto, las lámparas a ser utilizadas para iluminar las vías deben tener la propiedad de minimizar el uso del espectro de luz

azul [41,57,58]. Las lámparas utilizadas en las luminarias de las vías en estudio son del tipo HPS debido a que poseen las siguientes características, [52,53]:

- Son de las lámparas con mayor eficacia energética en el mercado y poseen un tiempo de vida útil promedio en comparación que las otras que existen en el mercado, [59,60].

Tabla 5.1. Eficacia y tiempo de vida útil de luminarias

Tipo de Lámpara	Eficacia (Lum/Watt)	Tiempo de vida (horas)
Vapor de mercurio	13-48	12000-24000
Metal Halide	60-80	10000-15000
CFL	40-65	6000-12000
HPS	60-120	15000-25000
LED	50-95	50000-100000

(Fuente: Energy Management Solutions Inc., 2012)

b) Luminarias

Las luminarias que deben utilizarse para alumbrado público y que sirvan para reducir la contaminación lumínica, de acuerdo a la figura 2.3, serán las tipos cut-off y full cut-off en el que la luz no se disperse por encima de la horizontal de la luminaria. Principalmente, en las vías en estudio, se están utilizando las luminarias que se pueden observar en las figuras.5.5 y 5.6



Figura 5.5. Luminaria para alumbrado público tipo horizontal cerrada 150 – 250 W.

(Fuente: CELSA , 2017)



Figura 5.6. Luminarias para alumbrado público 150 W - 250 W.

(Fuente: General Public Lighting , 2017)

En el ANEXO 3 se muestran los modelos de luminarias que recomienda [24] para que no influyan en la contaminación lumínica, de esos gráficos se observa que las luminarias de la Figura 5.5 son las que aportan contaminación lumínica y que las luminarias de la Figura 5.6 son las que menos contaminación lumínica producen ya que distribuyen de mejor manera el flujo luminoso. A continuación en la tabla se mostrará aquellas vías en estudios que deberían reemplazar sus luminarias por las mostradas en la Figura 5.6:

Tabla 5.2. Tipos de luminarias instaladas en las vías en estudio.

Ítem	Calle	Figura 5.5	Figura 5.6
1	Calle N57B Gabriel Araujo		X
2	Calle N54 de Los Pinos		X
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja		X
4	Calle E3D Luis Banderas		X
5	Calle E4 Diógenes Paredes		X
6	Calle N52 De los Algarrobos		X
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	X	
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	X	
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	X	

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

Tomando en cuenta lo señalado en la Tabla 5.2 se concluye que las calles E2B Carlos Andrade Marín, E2C Crisóstomo Castelli y N49 Aparicio Rivadeneira necesitan que sus luminarias sean reemplazadas con las luminarias mostradas en la Figura 5.6 con el fin de reducir la contaminación lumínica presente.

Otro dato importante que se debe considerar al momento de señalar las causas de la contaminación lumínica es el ángulo en el que se encuentran instaladas todas las

luminarias de las vías en estudio ver Figura 5.4. Para reducir este efecto es necesario que las luminarias mantengan siempre una posición horizontal de acuerdo a lo señalado en el ANEXO III.

5.1.5. Selección de la correcta distribución luminosa

Otro parámetro importante que se debe considerar para limitar la contaminación luminosa en las vías es la instalación de las luminarias tomando en cuenta su altura de montaje (MH) (por sus siglas en inglés, Mounting Height) de esta manera se podrá definir claramente la distribución luminosa de acuerdo a las necesidades de cada vía.

Por lo señalado en [61] y considerando los lineamientos de [62] para seleccionar correctamente una luminaria se deben tomar en cuenta sus propiedades fotométricas considerando su distribución luminosa esta su vez se divide en:

a) Distribución Lateral

La clasificación de distribución lateral de iluminación, describe la distribución de la luz en la superficie de la calle en relación con su anchura y esta última depende de la altura de montaje (MH) de la luminaria ver Figura 5.7, [61]:

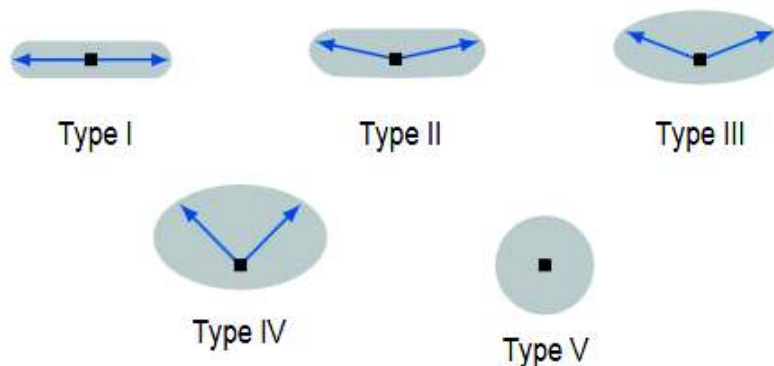


Figura 5.7. Distribución lateral.

(Fuente: M. McColgan et al, 2005)

A continuación se describe cada una de ellas

- **Tipo I:** La luminaria se coloca en el centro de la calle o área donde se requiere iluminación. Produce una zona iluminada de forma ovalada larga y estrecha. Para que una luminaria pertenezca al tipo I, la distribución se ubica entre 1 MH en el lado de la calle a ser iluminada

- **Tipo II:** La luminaria se coloca a un lado de la calle junto a la zona a ser iluminada. Produce una zona larga y estrecha, de forma ovalada, con luz que es aplicable a una calle de poca anchura. Para que una luminaria pertenezca al tipo II, la distribución se ubica entre 1 MH y 1.75 MH en el lado de la calle a ser iluminada.
- **Tipo III:** La luminaria se coloca a un lado de la calle junto a la zona a ser iluminada. Produce una zona de forma ovalada, con luz que es aplicable a una calle de anchura media. Para que una luminaria pertenezca al tipo III, la distribución se ubica entre 1.75 MH y 2.75 MH en el lado de la calle a ser iluminada.
- **Tipo IV:** La luminaria se coloca a un lado de la calle junto a la zona a ser iluminada. Produce una amplia área a ser iluminada, de forma ovalada, con luz que es aplicable a una calle amplia. Para que una luminaria pertenezca al tipo IV, la distribución se ubica para valores mayores a 2.75 MH en el lado de la calle a ser iluminada.
- **Tipo V:** La luminaria se coloca en el centro de la calle, intersección, o área donde se requiere iluminación. Produce un área circular iluminada. Para que una luminaria pertenezca al tipo V, la distribución debe ser totalmente simétrica alrededor de la posición de la luminaria.

Los tipos más utilizados para calles y carreteras son los tipos II, III y IV. La distribución tipo V se utiliza en zonas de estacionamiento o aplicaciones de iluminación.

b) Distribución Vertical

La distribución vertical de la luz, donde se describe la intensidad de luz máxima cae longitudinalmente hacia arriba y debajo de la calle se mide en relación a la altura de montaje (MH).

Los siguientes son los tipos de distribución vertical según [62].

- **Distribución Corta (Short Distribution):** La máxima intensidad luminosa que llega a la superficie de la calzada se ubica en un espacio que va desde 1 a 2.25 MH de la luminaria.
- **Distribución Media (Medium Distribution):** La máxima intensidad luminosa que llega a la superficie de la calzada se ubica en un espacio que va desde 2.25 a 3.75 MH de la luminaria.

- **Distribución Larga (Long Distribution):** La máxima intensidad luminosa que llega a la superficie de la calzada se ubica en un espacio que va desde 3.75 a 6 MH de la luminaria.

En la siguiente figura se puede observar la distribución luminosa que se debe tomar en cuenta para realizar un correcto diseño de iluminación.

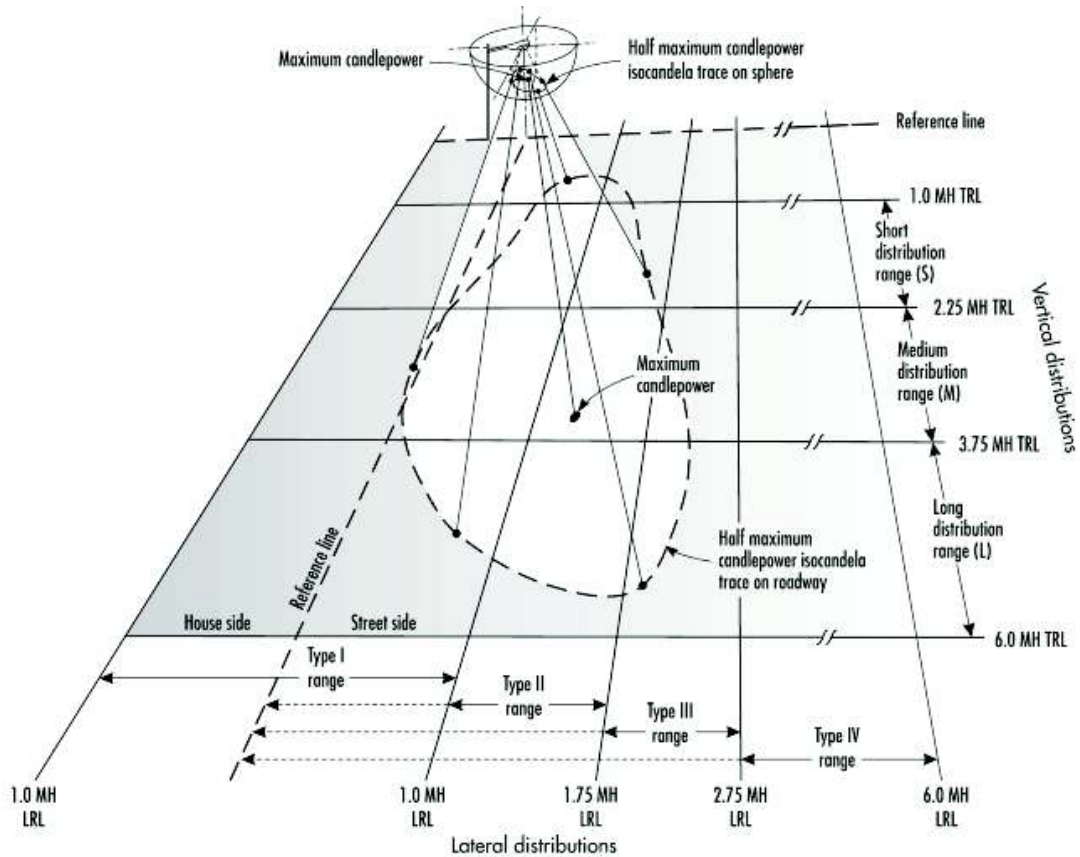


Figura 5.8. Distribución lateral y vertical, en la figura se observa una luminaria con distribución media y tipo III.

(Fuente: W. Adrian et al, 2000)

Con lo expuesto anteriormente se va a definir la distribución luminosa que deberían tener las luminarias a ser utilizadas en alumbrado público.

Tabla 5.3. Distribución vertical y lateral de las calles.

Ítem	Calle	HM (m)	Ancho Calzada (m)	HM/Ancho calzada	Distribución lateral (LRL)	Distribución vertical (TRL)
1	Calle N57B Gabriel Araujo	11,50	7,29	1,58	TIPO II	Distribución Corta (S)
2	Calle N54 de Los Pinos	11,50	8,87	1,30	TIPO II	Distribución Corta (S)
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	11,50	8,97	1,28	TIPO II	Distribución Corta (S)
4	Calle E3D Luis Banderas	11,50	7,05	1,63	TIPO II	Distribución Corta (S)
5	Calle E4 Diógenes Paredes	11,50	6,89	1,67	TIPO II	Distribución Corta (S)
6	Calle N52 De los Algarrobos	13,00	7,59	1,71	TIPO II	Distribución Corta (S)
		13,00	8,17	1,59	TIPO II	Distribución Corta (S)
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	9,00	7,67	1,17	TIPO II	Distribución Corta (S)
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	11,50	6,63	1,74	TIPO II	Distribución Corta (S)
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	11,50	8,14	1,41	TIPO II	Distribución Corta (S)

(Fuente: Elaboración propia, 2017)

5.1.6. Sustitución de luminarias

Debido a las características de las luminarias señaladas en la Tabla 5.1 se observa que los equipos que se utilizan para alumbrado público son del tipo HPS, tal como se muestra en el capítulo III de este documento. Cabe señalar que en la Ciudad de Quito actualmente existen 261982 luminarias utilizadas en alumbrado público de las cuales más del 90% son HPS el porcentaje restante corresponde a luminarias tipo MH, LED e incluso incandescente, ver Figura 5.9.

Cantidad de Luminarias en la Ciudad de Quito

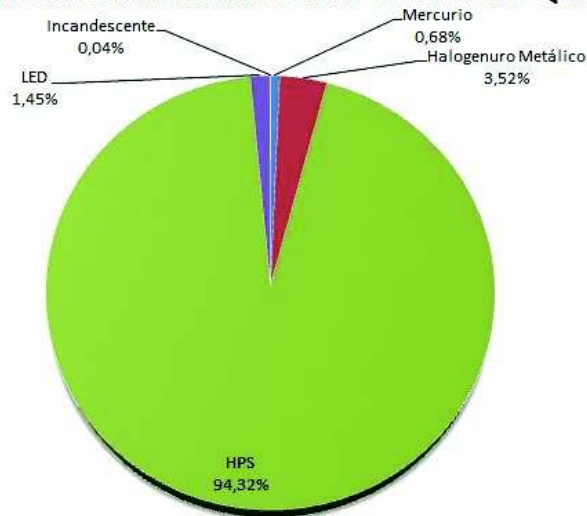


Figura 5.9. Tipos de luminarias utilizadas en alumbrado público.

(Fuente: Empresa Eléctrica Quito S.A, 2017)

De acuerdo a lo señalado en la Figura 5.9 se debe eliminar aquellas luminarias de alumbrado público que aportan a la contaminación lumínica y que en concordancia a las características señaladas en el capítulo III son las Metal Halide, incandescentes y las luminarias LED que tenga alto contenido de espectro ultravioleta.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- De los resultados obtenidos en el capítulo 4 se observa que en la mayoría de los casos la contaminación lumínica no se encuentra ligada directamente con el consumo excesivo de energía, ya que en casi el 80 % de las vías, en estudio, poseen una calificación energética tipo A, pero tienen un alto grado de contaminación lumínica debido principalmente a la incorrecta ubicación de las luminarias en las vías, ya que una parte de su flujo luminoso lo direcciona hacia lugares fuera de su espacio de trabajo.
- La mayor ventaja de utilizar un SQM-L es la de proporcionar la medición del cielo nocturno al instante asociado además a su bajo costo, sencillez de uso y pequeño tamaño es una herramienta muy útil que permite cuantificar la calidad del cielo nocturno.
- Actualmente, las vías de la ciudad de Quito se encuentran iluminadas en más del 90% por luminarias tipo HPS debido a su bajo costo, en comparación con otras tecnologías; posee una alta eficiencia energética, es decir, producen una buena cantidad de luz visible por cada vatio de energía consumida; y con respecto a la emisión de luz visible se puede señalar que las luminarias HPS no contaminan el ambiente ya que el rango de su espectro de radiación no considera en mayor grado la emisión de luces ultravioleta.
- Las especificaciones que se exigen para la adquisición de luminarias para vías en el Ecuador, actualmente no regulan de manera clara y precisa la cantidad de flujo luminoso que debería dirigirse hacia afuera de su plano de trabajo.

6.2. Recomendaciones

- Con el fin de reducir la polución lumínica se debe utilizar luminarias que eviten por completo la emisión de la luz sobre el horizonte. El límite adoptado en las normativas de estados y regiones europeas es de 0 cd/km a 90° o más sobre el plano horizontal (con una tolerancia de 0.5 cd/km) para cualquier luminaria pública o privada (salvo excepciones fuertemente justificadas).
- Para un control efectivo de la contaminación lumínica es necesario no sobreiluminar, es decir, no aplicar niveles de iluminación superiores a las recomendaciones internacionales de seguridad para cada uso, y disminuir estos niveles de forma homogénea a las horas de la noche en que la disminución del tráfico no justifica su mantenimiento, en la actualidad de

acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo 4 se observa que casi la totalidad de las vías poseen un nivel de iluminación superior al 20 % que es señalado en las generalidades de [47].

- Se recomienda utilizar lámparas cuya distribución espectral tenga la máxima intensidad en las longitudes de onda a las que el ojo tiene la máxima sensibilidad en las condiciones típicas de las áreas a iluminar (normalmente visión fotópica), evitando al máximo las lámparas de amplio espectro (de luz blanca). De este modo, además de favorecer el máximo aprovechamiento de la luz para la función visual, se evita en parte invadir la región del espectro correspondiente a la visión escotópica, que es la predominante cuando se observa el cielo oscuro natural lejos de la zona donde están situadas las luminarias. En la práctica, este criterio consiste en identificar el tipo de lámpara entre las disponibles por la técnica actual, siendo estas limitadas en número y de características conocidas ver el capítulo 2 de este documento.
- Considerando los tipos de luminarias utilizados en la iluminación de vías y que fueron señalados en el capítulo 2, se recomienda mantener la implementación de lámparas de vapor de sodio de alta presión (HPS) en las vías de la ciudad de Quito ya que hasta la fecha son las únicas que presentan las mejores características lumino-técnicas en comparación con las otras tecnologías.

6.3. Trabajos futuros

- En Quito utilizando el método desarrollado en el Proyecto NIXNOX se podría buscar los sectores más contaminados y realizar una medición continua del brillo del cielo nocturno. Este proyecto plantea instalar una red de SQM en varios sectores de una localidad y realizar un seguimiento continuo de los valores de brillo nocturno, [63,64,65].
- Con los valores obtenidos y señalados en el numeral anterior se debería desarrollar un proyecto en el cual se pueda sectorizar a la ciudad de Quito de acuerdo a su nivel de contaminación lumínica con el fin de buscar las mejores maneras de reducir esta contaminación considerando las necesidades lumínicas de cada área.
- Elaboración de un programa de educación ambiental en donde se dé a conocer los peligros de la utilización de luminarias que no son adecuadas en áreas exteriores y vías de la ciudad de Quito para de esta manera concientizar a la ciudadanía de los efectos de la contaminación lumínica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rensselaer Polytechnic Institute. (2003 (Revised 2007), March) NLPIP Volume 7, Issue 2, Lighting Answers. [Online].
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlPIP/lightinganswers/lightpollution/abstract.asp>
- [2] J. Stare. (2014) Light Pollution Map. [Online].
<https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=4&lat=5759860&lon=1619364&layers=B0TFFF>
- [3] F. Falchi et al, "The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness," Light Pollution Science and Technology Institute, Italy, Research Article 2016.
- [4] D. A. Chango y R. A. Brito, "Zonificación lumínica mediante un software de sistemas de información geográfica, aplicado al alumbrado público vial de la zona norte de la ciudad de Quito," Escuela Politécnica Nacional, Quito, Tesis de Ingeniería 2016.
- [5] Gobierno de España, "Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior", Real Decreto 1890/2008, Noviembre 14, 2008.
- [6] Unihedron, "Instruction_sheet-Sky Quality Meter with Lens (SQM-L)," Canada, February, 2008.
- [7] W. Adrian et al, "Road lighting calculations", CIE 140 -2000, December, 2006.
- [8] E. Sanjuán, "Conceptos Básicos de Luminotecnia," Fundación para la Eficiencia Energética, Valencia, España, Presentación 2014.
- [9] Georgia State University M. Olmo and R. Nave. (2017) HyperPhysics. [Online].
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- [10] M. Peñahora García Sanz, "Iluminación en el Puesto de Trabajo. Criterios para su Evaluación y Acondicionamiento," Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, Publicación 2011.
- [11] UNIHEDRON, SQM-LE Operator's manual, 2017.
- [12] T. Mitchell, "Astrolabe," Vienna University Observatory, Vienna, Manual Beta Version 0.1, 2011.
- [13] Commission Electrotechnique Internationale, "Luminaires - Part 1: General requirements and tests", IEC 60598-1, September, 2009.
- [14] Acuity Brands Lighting Inc. (2017) "Cutoff Classifications - Luminaire classification for controlling stray light".
[Online]. http://www.lithonia.com/micro_webs/nighttimefriendly/cutoff.asp
- [15] S. Almási et al, "Road Transporting for Developing Countries," CIE 108: 2007, International

Commission on Illumination.

- [16] Dr. A. M. Habil, "Artificial Lighting - lecture notes," Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Lecture notes 2011.
- [17] M. Geller. (September 8, 2014) Everything to Know About Blue Light and Crizal Prevensia. [Online]. <http://www.newgradoptometry.com/everything-to-know-about-blue-light-crizal-prevencia/>
- [18] OSRAM, "Osram Dulux - Electronic energy-saving lamps - Technical Guide", 2017.
- [19] J. J. Medina, "Diseño de un Regulador de Flujo Luminoso y su Importancia en la Iluminación Moderna," Universidad de Sevilla, Proyecto de Fin de Carrera.
- [20] LampTech. (2011, November) Spectral Properties of the Sodium Discharge. [Online]. <http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO%20Spectral.htm>
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Reglamento Técnico Ecuatoriano - ALUMBRADO PÚBLICO," RTE INEN 069 2012.
- [22] D. Van Scoyk, "LED Lighting: Is it Time to Change from Fluorescent and Incandescent Lighting?," Advanced Control Technologies, Inc., White Paper Report.
- [23] IFONS Optoelectronic Technology Co. (2014) IFONS. [Online]. <http://www.ifons-led.com/productshow.php?id=276>
- [24] International Dark-Sky Association. Light Pollution. [Online]. <http://darksky.org/light-pollution/>
- [25] C. Shaflik, "Light pollution, environmental effects of roadway lighting," University of British Columbia, Technical Paper CIVL 582, 1995,.
- [26] National Optical Astronomy Observatory. (2009) Globe at Night. [Online]. <https://www.globeatnight.org/light-pollution.php>
- [27] T. Longcore and C. Rich, "Ecological Light Pollution," *Ecol Environ*, pp. 191-198, 2004.
- [28] D. Delgado, "Balance Energético Nacional, 2016, Año Base 2015," Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Parte 1 2016,.
- [29] M.ª Á. Rol de Lama et al, "El Lado Oscuro de la Luz: Efectos de la Contaminación Lumínica sobre la Salud Humana," *Revista del Colegio Oficial de Físicos*, pp. 20-22, junio, 2011.
- [30] B. Witherington and R. Martin, "Understanding, Assessing, and Resolving Light-Pollution Problems on Sea Turtle Nestling Beaches," Florida Marine Research Institute, Florida, Technical Report TR-2, 2000.
- [31] Departamento de Recursos Naturales, "Fotoperiodismo y el control de la Floración," Universidad de la Empresa - Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Semillas Forrajeras.

- [32] Gobierno de España, Instrucción Técnica Complementaria EA-01, Eficiencia Energética, GUÍA-EA-01, Mayo, 2013.
- [33] NOAA National Centers for Environmental Information. "Earth Observation Group (EOG)". [Online]. <https://www.ngdc.noaa.gov/eog/index.html>
- [34] E. Avilés. "Enciclopedia del Ecuador". [Online].
<http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-del-ecuador/hoya-del-guayllabamba/>
- [35] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, "Resultados del Censo 2010 de Población y Vivienda en el Ecuador," Fascículo Provincial Pichincha 2010.
- [36] Dpto. Estudios de Distribución, "Normas para Sistemas de Distribución - Parte B - Estructuras Tipo," DD.DID.722.IN.03 Marzo, 2009.
- [37] P. Cinzano, "Night Sky Photometric with Sky Quality Meter," Dipartimento di Astronomia, Vicolo dell'Osservatorio, Padova, Italy, Internal Report No. 9, 2005.
- [38] C. Herranz Dorremocha, "El Impacto Ambiental de la Iluminación Nocturna Artificial," Cuadernos de Ciencias Naturales de Navarra, N° 17, pp. 27-44, 2002 Sociedad de Ciencias Naturales Gorosti.
- [39] Unihedron. (Jul 2005) "Sky Quality Meter". [Online].
<http://unihedron.com/projects/darksky/magconv.php>
- [40] Astronom. (2000) "Sky Quality Meter". [Online].
<http://www.astronom.net/astronom/temas/sqm/sqm.htm>
- [41] C. Walker et al, "GLOBE at night: using Sky Quality Meters to measure sky brightness," 2008, National Optical Astronomy Observatory, Nightwise.org, Astronomy from the Ground Up, Night Sky Network, The International Dark_Sky Association.
- [42] J. Zamorano et al, "Medidas del Brillo del Cielo Nocturno - La Experiencia de la UCM," Universidad Complutense de Madrid, Andalucía, 2014.
- [43] Vercalegario.info. (2017) "Calendario Lunar Mes Mayo 2017 (Ecuador)". [Online].
<https://www.vercalegario.info/es/luna/ecuador-mes-mayo-2017.html>
- [44] EPN Observatorio Astronómico de Quito. (2016) "Datos Meteorológicos". [Online].
<http://oaq.epn.edu.ec/index.php/servicios/metreologia/datos-meteorologicos>
- [45] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2017) Proyecciones Poblacionales. [Online].
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- [46] T. Adams et al, "Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic," 2010 CIE 115.
- [47] Gobierno de España, "Instrucción Técnica Complementaria EA-02, Niveles de Iluminación," Mayo 2013, GUÍA-EA-02.

- [48] Gobierno de España, "Ejemplos de Aplicación del Reglamento de Eficiencia Energética en Alumbrado Exterior," Mayo 2013, GUÍA-EA-ANEXO I.
- [49] Real Academia Española. (2017) Diccionario de la Lengua Española. [Online]. <http://dle.rae.es/?id=Hxobjb39>
- [50] Gobierno de España, "Instrucción Técnica Complementaria EA-04 - Componentes de las Instalaciones," GUÍA-EA-04.
- [51] Consejo Nacional de Electricidad, "Prestación de Servicio de Alumbrado Público General," Regulación CONELEC 005/14, Sep. 2014.
- [52] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Luminaria Simple Nivel de Potencia con Lámpara de Vapor de Sodio de Alta Presión con Carcasa de Aluminio Inyectado," Especificación de Luminarias Sección 3, Diciembre 15, 2016.
- [53] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Luminaria Simple Nivel de Potencia con Lámpara de Vapor de Sodio de Alta Presión con Carcasa de Polipropileno," Regulación de Luminarias Sección 3, Marzo 24, 2015.
- [54] S. Harder, "Guidelines for Municipal Streetlighting in the Right of Way," New York, Guideline 2008.
- [55] ILP, "Guidance Notes for the Reduction of Obstrusive Light," Institution of Lighting Professionals, Guidance Notes GN01, 2011.
- [56] Pennsylvania Outdoor Lighting Council, "Outdoor Lighting Tips to Avoid Light Pollution," Department of Conservation and Natural Resources, Pennsylvania, 2011.
- [57] A. Ranea et al, "Declaración Sobre el Uso de Luz Blanca Rica en Componente Azul para el Alumbrado Público," Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Declaración 2013.
- [58] P. Sanhueza y J. Díaz Castro F. de la Paz Gómez, "Practical Guide for Outdoor Lighting," IAC/OTPC - CONAMA AURA CARSO ESO/OPCC, Tenerife - Antofagasta, Technical Offices 2010.
- [59] G. Swanson and C. Carlson, "Cost-Benefit Analysis of Energy Efficient Technologies Available for Use in Roadway Lighting," Minnesota Department of Commerce, Minnesota, Final Report 2012.
- [60] L. Halonen, "Energy Efficient Electric Lighting for Building," International Energy Agency, Finland, Guidebook Annex 45, 2010.
- [61] M. McColgan et al, "LESS: Luminaire Evaluation and Selection System," Lighting Research Center Rensselaer Polytechnic Institute, New York, Report LRC-LESS, 2005.
- [62] W. Adrian, "American National Standard Practice for Roadway Lighting," Illuminating Engineering Society, Standard RP-8-00, June 2000.

- [63] Universitat de Barcelona. (2010, Septiembre) Proyecto NIXNOX. [Online]. <http://www.sea-astronomia.es/drupal/nixnox>
- [64] J. Zamorano et al, "Proyecto NIXNOX," *Astronomía*, vol. II, no. No. 142, pp. pp. 36-42, Abril 2011.
- [65] Agrupació Astronòmica D'Eivissa. (2015) Contaminación Lumínica: El Proyecto NIXNOX. [Online]. <http://www.aaeivissa.com/index.php/conocenos/contaminacion-luminica-el-proyecto-nixnox>
- [66] Empresa Eléctrica Quito. BajaCartóEléctrico. [Online]. <http://gis-sigde.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=f7b76f5c1419431c97e6fecddd489957>
- [67] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Sección 5: Código de las Unidades de Propiedad para los Sistemas," Secc5_AP2, 2016-03-10 Homologación de las Unidades de Propiedad, Rev. 2.
- [68] Dr. Doug Welch and Anthony Tekatch. Unihedrom. [Online]. <http://unihedron.com/projects/sqm-l/>
- [69] International Journal of Fundamental Physical Science (IJFPS), "Light Pollution and Its Effect on the Environment," *Fundamental Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 08-12, March 2014.
- [70] National Institute of General Medical Sciences. (Noviembre, 2012) Hoja informativa sobre los ritmos circadianos. [Online]. <https://www.nigms.nih.gov/education/Pages/los-ritmos-circadianos.aspx>
- [71] Alphabet Inc. (2005) "Google Maps". [Online]. <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1410297,-78.4812585,16z>
- [72] N. Kopsie and A. Fraknoi C. Walker, "Disappearing Orion: Light Pollution and Sky Brightness," *Globe at Night campaign and the Dark Sky Rangers Program, USA, Tools of the Astronomer J13*, 2010.
- [73] R. Sparks and S. Pompea C. Walker, "Optics Education in the International Year of Astronomy," *National Optical Astronomy Observatory, Arisona*, 2007.
- [74] R. Chepesiuk, "Missing the Dark Health Effects of Light Pollution," *Environmental Health Perspectives*, vol. 117, no. 1, pp. A20-A27, January 2009.

ANEXOS

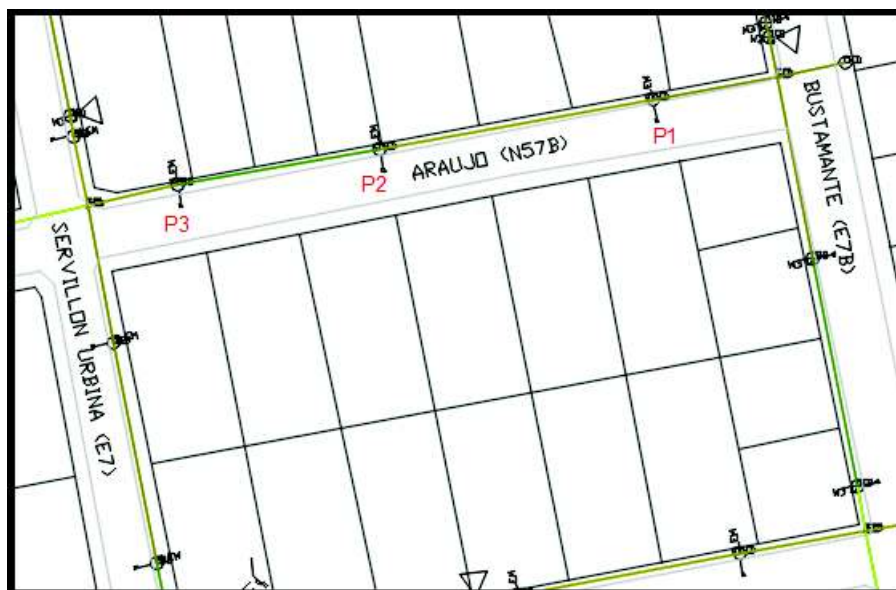
ANEXO 1: Estructuras de las Vías

Utilizando [66], se puede ubicar la red y las estructuras que conforman cada vía; la descripción de los elementos que conforman cada estructura se la encuentra en [67], a continuación.

Las vías que fueron intervenidas para este proyecto son:

Calle N57B Gabriel Araujo

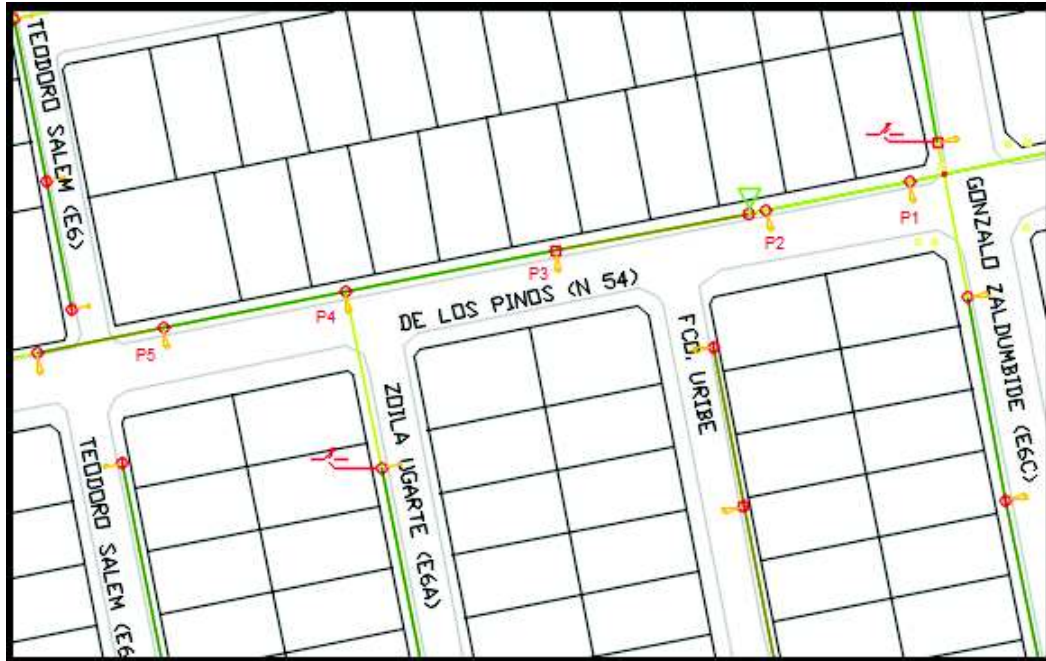
La calle N57B Gabriel Araujo, y cuyas intersecciones son las calles Cerbelión Urbina y Carlos Bustamante posee las siguientes características.



Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	10.034.680	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	LDPS150PCC	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
2	P2	10.034.691	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	LDPS150PCC	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
3	P3	10.034.694	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	LDPS150PCC	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C

Calle N54 De Los Pinos

La calle N54 De Los Pinos y cuyas intersecciones son las calles Julio Teodoro Salem y Gonzalo Zaldumbide posee las siguientes características.



Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	747.930	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0316	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Dob. Niv. Pot. C
2	P2	747.721	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0316	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Dob. Niv. Pot. C
3	P3	747,931	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0316	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Dob. Niv. Pot. C
4	P4	747.932	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0316	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Dob. Niv. Pot. C
5	P5	747.737	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0316	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Dob. Niv. Pot. C

Calle N53 Cap. Ramón Borja

La calle N53 Cap. Ramón Borja y cuyas intersecciones son las calles Víctor Mideros y Gerardo Chiriboga posee las siguientes características.

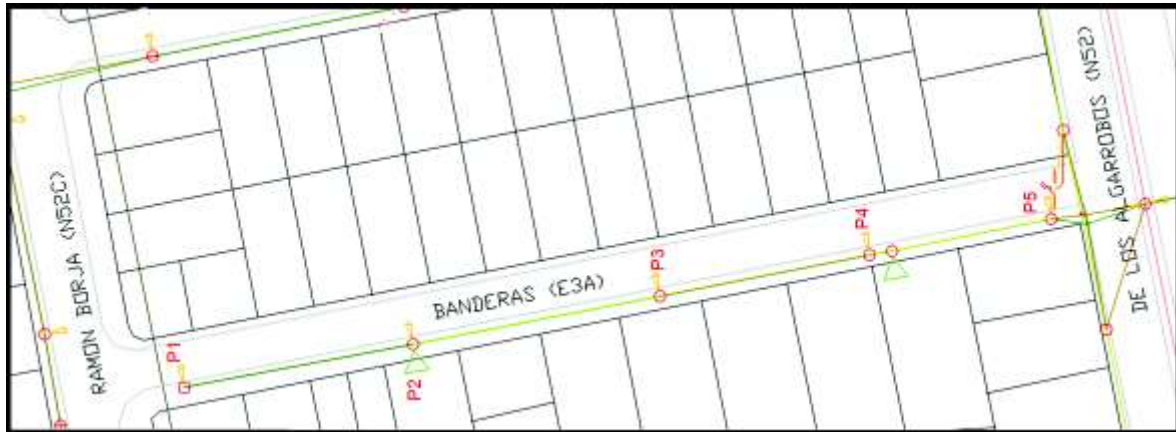


Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	25.189.047	PHC 9_400	Poste de hormigón circular de 9 m de altura y 400 kg de peso	APO0316	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Dob. Niv. Pot. C
2	P2	773.754	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0316	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Dob. Niv. Pot. C

Como se trata de una vía principal y revisando los postes que se extienden a lo largo de esta carretera se observa que en la altura del poste P1 señalado en [66] puede estar con un valor que no es el real por esta razón en este documento se va a considerar que P1 tiene una altura de 11.5 metros.

Calle E3D Luis Banderas

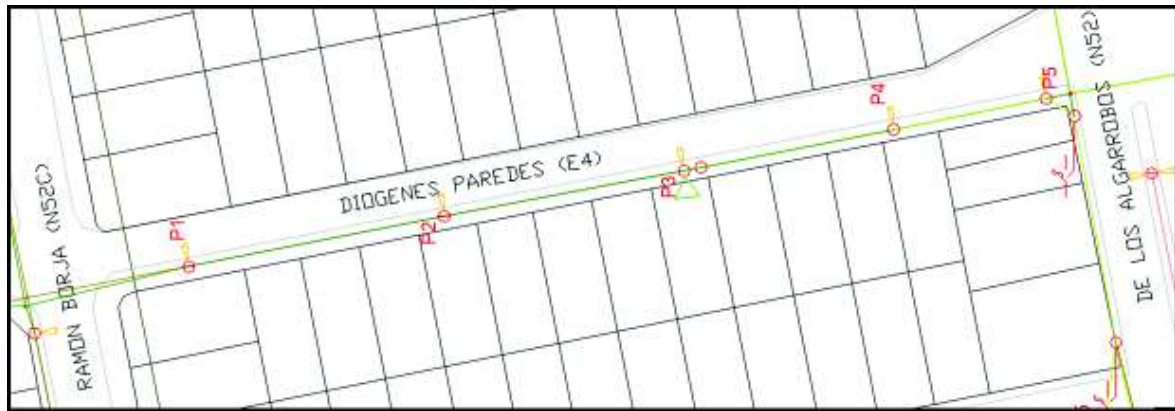
La calle E3D Luis Banderas y cuyas intersecciones son la calle Cap. Ramón Borja y Av. De Los Algarrobos posee las siguientes características.



Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	773.853	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0305	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
2	P2	773.882	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0305	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
3	P3	773.833	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0305	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
4	P4	773.881	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0305	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
5	P5	11.062.495	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0305	Luminaria 240 V, Sodio, 150 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C

Calle E4 Diógenes Paredes

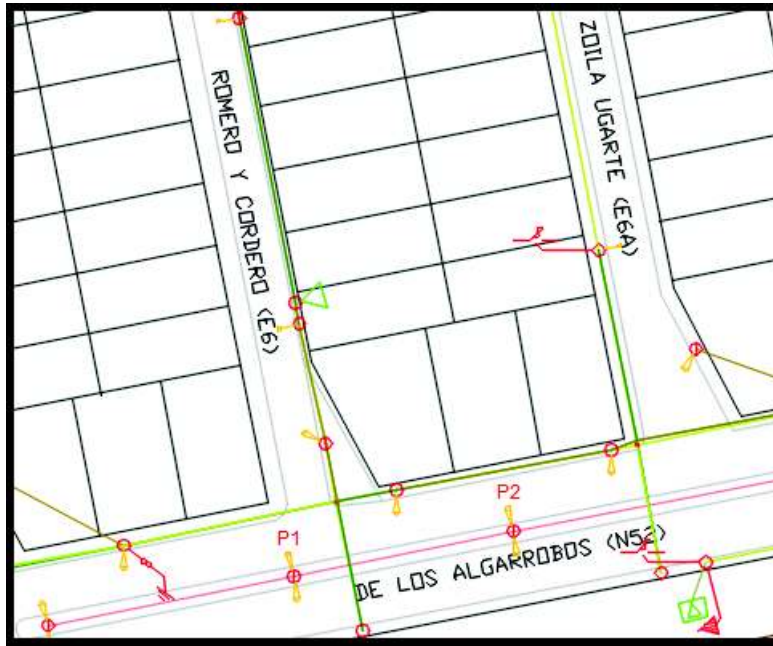
La calle E4 Diógenes Paredes y cuyas intersecciones son la calle Cap. Ramón Borja y Av. De Los Algarrobos posee las siguientes características.



Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	773.820	PHC 9_400	Poste de hormigón circular de 9 m de altura y 400 kg de peso	APO0306	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
2	P2	773.819	PHC 9_400	Poste de hormigón circular de 9 m de altura y 400 kg de peso	APO0306	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
3	P3	773.875	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0306	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
4	P4	773.832	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0306	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
5	P5	11.062.560	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0306	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C

Avenida N52 De Los Algarrobos

La avenida N52 De Los Algarrobos y cuyas intersecciones son las calles Zoila Ugarte y Remigio Romero y Cordero posee las siguientes características.



Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	11.062.853	PHC 13_500	Poste de hormigón circular de 13 m de altura y 500 kg de peso	APO0306	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
2	P2	11.062.975	PHC 13_500	Poste de hormigón circular de 13 m de altura y 500 kg de peso	APO0306	Luminaria 240 V, Sodio, 250 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C

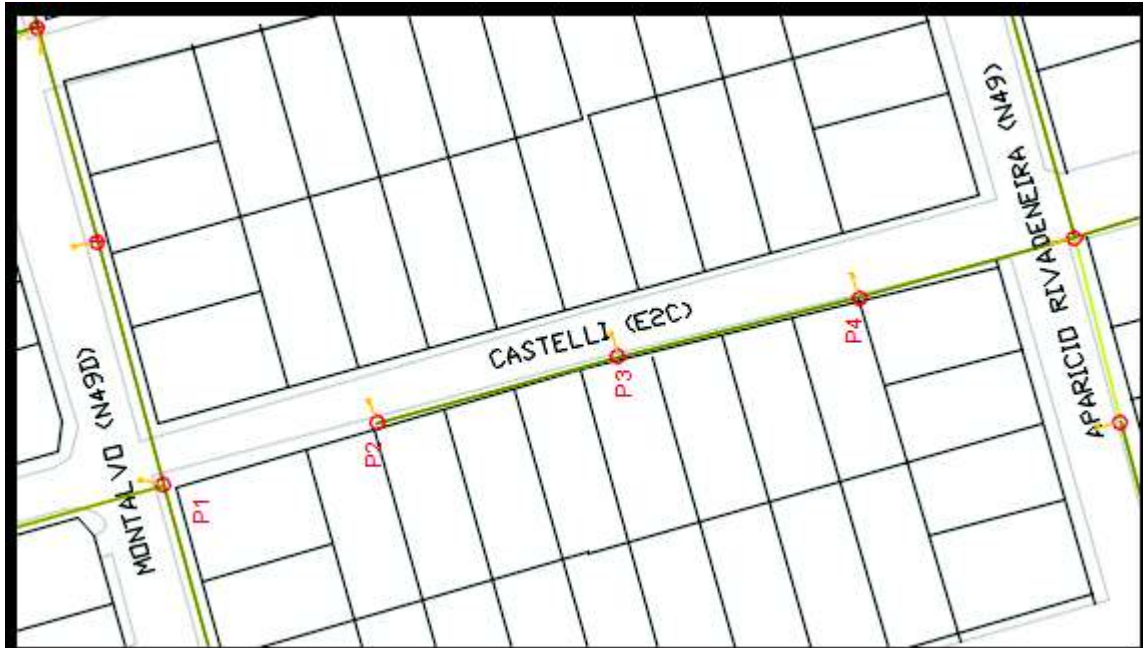
Calle E2B Carlos Andrade Marín

La calle E2B Carlos Andrade Marín y cuyas intersecciones son las calles Abelardo Montalvo y Aparicio Rivadeneira posee las siguientes características.

Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	751.32	PHC9_675	Poste de hormigón circular de 9 m de altura y 675 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
2	P2	751.321	PHC9_500	Poste de hormigón circular de 9 m de altura y 500 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
3	P3	11.082.923	PHC 11.5_600	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 600 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C

Calle E2C Crisóstomo Castelli

La calle E2C Crisóstomo Castelli y cuyas intersecciones son las calles Abelardo Montalvo y Aparicio Rivadeneira posee las siguientes características.



Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	750.831	PHC 11.5_675	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 675 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
2	P2	751.728	PHC 11.5_350	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 350 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
3	P3	751.727	PHC 11.5_600	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 600 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
4	P4	751.747	PHC 11.5_600	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 600 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C

Calle N49 Aparicio Rivadeneira

La calle N49 Aparicio Rivadeneira y cuyas intersecciones son las calles Carlos Andrade Marín y Crisóstomo Castelli posee las siguientes características.



Ítem	Poste	Número de poste	Estructura de poste	Descripción	Estructura de luminaria	Descripción
1	P1	11.082.917	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C
2	P1	751.499	PHC 11.5_500	Poste de hormigón circular de 11,5 m de altura y 500 kg de peso	APO0304	Luminaria 240 V, Sodio, 100 W, Poste con red aérea hilo piloto Pot. cte. C

ANEXO 2: Mediciones de contaminación lumínica

Siguiendo el método mostrado en el capítulo II se realizaron varias mediciones en cada una de las vías intervenidas, el número de ellas dependió de la separación del SQM-L con respecto a las luminarias de la vía, de acuerdo a la Figura 4.5.

Medición 1: Tomada 25 de mayo de 2017, entre 19:30 a 22:00

Ítem	Descripción	Número de Mediciones Mag/arc*seg ²										Promedio		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mag/arc*s ²	cd/m ²	
1	Calle N57B Gabriel Araujo	13,67	13,98	15,30	14,36	15,36	13,84	15,44					14,56	0,161
2	Calle N54 de Los Pinos	11,11	15,53	15,21	15,83	15,64	16,40						14,95	0,113
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	13,02	16,34	14,59									14,65	0,149
4	Calle E3D Luis Banderas	15,23	13,79	17,18	16,22	16,83	16,77	13,49	17,34	17,34	16,63		16,08	0,040
5	Calle E4 Diógenes Paredes	14,52	15,77	13,65	16,43	13,89	17,21	13,64	16,70	13,16			15,00	0,108
6	Calle N52 De los Algarrobos	13,79	14,39	15,99	16,55	12,99	13,43						14,52	0,168
		14,07	16,99	14,55	13,72								14,83	0,126
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	15,16	15,56	14,33	15,53	15,18	14,48	15,65					15,13	0,096
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	15,01	14,94	13,95	14,93	14,60	14,91	13,15	14,94	13,56	13,04		14,30	0,205
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	13,34	15,87	13,99	15,89								14,77	0,133

Medición 2: Tomada 26 de mayo de 2017, entre 19:30 a 22:00

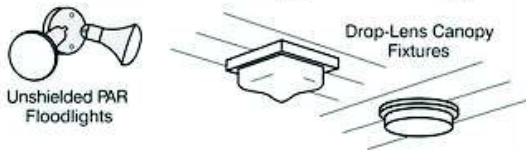
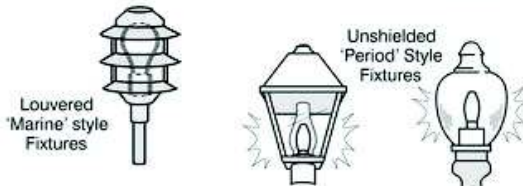
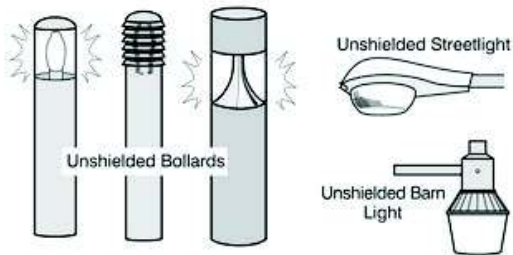
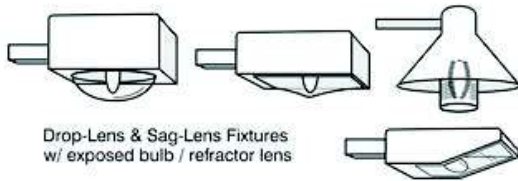
Ítem	Descripción	Número de Mediciones Mag/arc*s ²										Promedio	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mag/arc*s ²	cd/m ²
1	Calle N57B Gabriel Araujo	14,73	16,97	15,99	16,99							16,17	0,037
2	Calle N54 de Los Pinos	13,39	15,67	14,49	16,00	15,28						14,97	0,111
3	Calle N53 Cap. Ramón Borja	14,76	15,46	16,42	15,26							15,48	0,070
4	Calle E3D Luis Banderas	14,18	15,85	17,39	16,70	15,36	16,98	16,87	14,54	17,30	16,37	16,15	0,037
5	Calle E4 Diógenes Paredes	14,22	14,12	15,97	15,65	16,57	15,39	17,14	14,07	17,15	15,39	15,57	0,064
6	Calle N52 De los Algarrobos	13,71	14,59	16,56	17,40	16,59	13,75					15,43	0,072
		15,53	17,84	16,47	15,21	13,99						15,81	0,051
7	Calle E2B Carlos Andrade Marín	15,97	16,66	13,89	16,24	14,04	16,29	13,77	16,78	15,65		15,48	0,070
8	Calle E2C Crisóstomo Castelli	16,57	15,19	13,54	17,00	14,83	16,90	13,93	16,87	13,60		15,38	0,076
9	Calle N49 Aparicio Rivadeneira	11,38	15,94	16,13	14,64	13,80	16,53					14,74	0,138

ANEXO 3: Comparación de luminarias

Examples of Acceptable / Unacceptable Lighting Fixtures

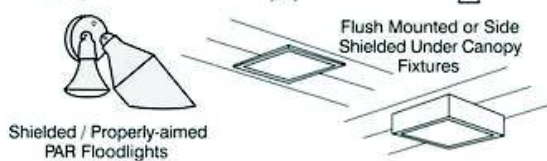
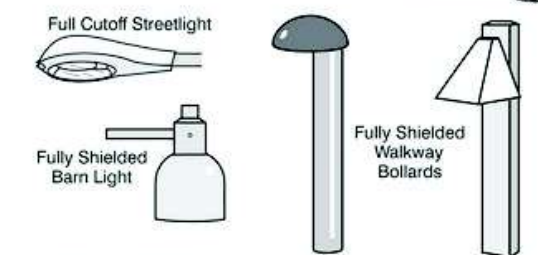
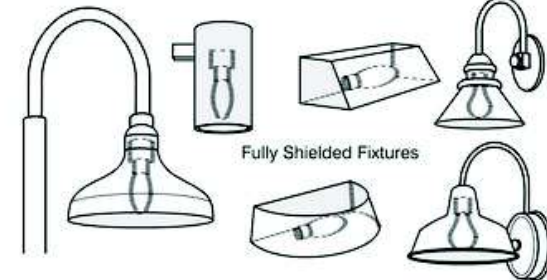
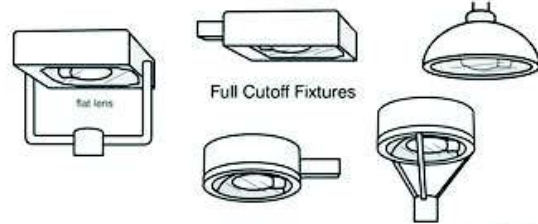
Unacceptable / Discouraged

Fixtures that produce glare and light trespass



Acceptable

Fixtures that shield the light source to minimize glare and light trespass and to facilitate better vision at night



Illustrations by Bob Crelin© 2005. Rendered for the Town of Southampton, NY. Used with permission.