

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL SECTOR EL GIRÓN EN LA CIUDAD DE QUITO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

JOSÉ PAÚL POZO GUERRÓN
napster_7@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CÉSAR ALFONSO NARVÁEZ RIVERA
cesar.narvaez@epn.edu.ec

Quito, mayo 2014

DECLARACIÓN

Yo, José Paúl Pozo Guerrón, declaro 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.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Paúl Pozo Guerrón

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por José Paúl Pozo Guerrón, bajo mi supervisión.

Ing. César Narváez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, pilar fundamental en mi vida, sin Él esto no hubiera sido posible. Su bendición me trajo hasta aquí.

A mis padres, quienes me guiaron y, a pesar de las diferencias, me supieron apoyar en el trayecto de la carrera.

A los maestros y mentores que me formaron desde los años de infancia hasta la actualidad. Gratitud por sus consejos y conocimientos aportados.

Al Ingeniero César Narváez por llevar la tutela de este proyecto. Al Ingeniero Edwin Recalde, Jefe de Alumbrado Público de la Empresa Eléctrica Quito, por sus datos aportados para el presente trabajo de titulación.

A todas y todos los que hicieron posible que esta tesis de grado se lleve a cabo.

GRACIAS!

DEDICATORIA

Este proyecto está dirigido a quienes se han interesado en temas de planificación territorial, medios urbanos y perfiles ambientales. Pero sobre todo, a quienes ven más allá de lo evidente para plantearse retos en la vida. A esos que por una u otra cuestión, no consiguieron llegar a donde quisieron, o dudan de donde están.

Extender la dedicatoria a aquellos que siempre me acompañaron a caminar por distintos momentos de la vida: a mis amigos. Ellos, quienes a pesar de las circunstancias han seguido de una u otra forma junto a mí, y me han hecho sentir su presencia y apoyo incondicional. Sería injusto no nombrar a todos y olvidar a alguno, pero cito a la gente de Ambiental, particularmente a los GROSSOS , grupo permanente desde el inicio de la carrera; al grupo HSA, que con su buena onda me hacen pasar momentos agradables, y con mención especial a mi trípode: José Luis, Gerardo y Diego; con quienes, a través de tantos años compartidos, hemos crecido como personas. Sé que estarán ahí, hasta por si acaso. Tampoco puedo dejar de mencionar a familiares y allegados que han hecho el camino un poco más llevadero.

En definitiva, “ésta es para vos”.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE CUADROS.....	X
RESUMEN.....	XIII
PRESENTACIÓN.....	XIV
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2 ALCANCE.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO II: INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 NATURALEZA DUAL DE LA LUZ	4
2.2 ESPECTRO VISIBLE.....	5
2.3 ESPECTRO LUMINOSO	5
2.3.1 ESPECTRO DE ABSORCIÓN	6
2.3.2 ESPECTRO DE EMISIÓN	6
2.4 CAMPO VISUAL.....	7
2.4.1 FISIOLÓGÍA DEL OJO.....	7
2.4.2 PROCESO DE LA VISIÓN	8
2.4.3 CONO DE VISIÓN	8
2.4.4 PERCEPCIÓN VISUAL HUMANA	10
2.4.5 EFICIENCIA VISUAL	11
2.4.6 CONFORT VISUAL.....	12

2.4.7 AGUDEZA VISUAL	13
2.5 ASPECTOS NO VISUALES DE LA LUZ	14
2.5.1 CICLO CIRCADIANO.....	14
2.6 MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS	16
2.6.1 INTENSIDAD LUMINOSA (I)	17
2.6.2 ILUMINANCIA/NIVEL DE ILUMINACIÓN (E).....	18
2.6.3 LUMINANCIA (L).....	18
2.6.4 RENDIMIENTO LUMINOSO/EFICACIA LUMÍNICA.....	19
2.7 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA / EFECTOS DE LA DISPERSIÓN DE LUZ 20	
2.7.1 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	23
2.8 COSTO AMBIENTAL.....	27
2.8.1 COSTO POR ILUMINACIÓN DE “FOCOS DE SEGURIDAD”	28
2.8.2 COSTO COMPARATIVO DE LOS “FOCOS DE SEGURIDAD” CON AUTOMÓVILES	28
2.8.3 COSTO POR EXCESIVA ILUMINACIÓN VIAL.....	29
2.9 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO	29
2.9.1 ANTECEDENTES	29
2.9.2 DEFINICIONES.....	32
2.9.3 REQUISITOS DE DISEÑO E INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO	34
2.9.3.1 Reconocimiento del sitio y objetos a iluminar	34
2.9.3.2 Requerimiento de iluminación.....	35
2.9.3.3 Selección de fuentes luminosas	36
2.9.3.4 Documentos fotométricos	36
2.9.3.5 Documentos adicionales.....	38
2.9.3.6 Características de reproducción cromática y de temperatura de color.....	39
2.9.4 REQUISITOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO	42
2.9.5 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO	44
2.9.5.1 Determinación de los parámetros fotométricos.....	44
2.9.6 CONTINUIDAD DE SERVICIO	55
2.9.7 SISTEMA DE ZONIFICACIÓN	57

2.9.7.1 Limitaciones del flujo hemisférico superior	58
CAPÍTULO III: METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO	59
3.1 DEMOGRAFÍA Y UTILIZACIÓN DE LA VÍA	59
3.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	59
3.1.2 REALIDAD ACTUAL	61
3.1.3 FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LA VÍA.....	64
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO	67
3.2.1 CONTEO DE USUARIOS (PEATONES Y AUTOMOTORES) QUE CIRCULAN POR LA VÍA	67
3.2.1.1 Automotores sentido Norte - Sur	68
3.2.1.3 Ocupación peatonal en la vereda occidental	70
3.2.1.4 Ocupación peatonal en la vereda oriental	72
3.2.2 DETERMINACIÓN DE TIPO DE VÍA (CALZADA)	73
3.2.2.1 Vía sentido Norte – Sur (vereda Occidental)	73
3.2.2.2 Vía sentido Sur – Norte (vereda Oriental).....	74
3.2.3 DETERMINACIÓN DE TIPO DE ACERA (PEATONAL)	76
3.2.3.1 Vereda Oriental.....	76
3.2.3.2 Vereda Occidental	77
3.2.4 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	78
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS LUMINARIAS	80
3.3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LÁMPARAS	80
3.3.2 LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	81
3.3.3 DIMENSIONES	82
3.3.4 BALANCE ENERGÉTICO	83
3.4 AUDITORÍA ENERGÉTICA	84
3.4.1 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	85
3.4.2 COSTO DEL CONSUMO ENERGÉTICO	85
3.4.3 RELACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	86
3.4.4 DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO	87
3.4.5 DETERMINACIÓN NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	88
3.5 NIVELES DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	94

3.5.1 Rendimiento Luminoso.....	97
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	98
4.1 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO.....	98
4.2 ANÁLISIS LUMINOTÉCNICO.....	100
4.3 ANÁLISIS AMBIENTAL	102
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1 CONCLUSIONES	104
5.2 RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS.....	110
ANEXO N° 1: FOTOGRAFÍAS.....	111
ANEXO N° 2: REFERENCIA POSICIONAL LUMINARIAS.....	116
ANEXO N° 3: PLIEGO TARIFARIO EEQ.....	118
ANEXO N° 4: EQUIPO DE MEDICIÓN.....	120
ANEXO N° 5: EJEMPLO PERFIL AMBIENTAL.....	122

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 ESPECTRO VISIBLE AL OJO HUMANO.....	5
FIGURA 2.2 ESPECTRO DE ABSORCIÓN.....	6
FIGURA 2.3 ESPECTRO DE EMISIÓN.....	6
FIGURA 2.4 CAMPO VISUAL HORIZONTAL Y VERTICAL.....	7
FIGURA 2.5 ESTRUCTURAS OCULARES.....	8
FIGURA 2.6 ESQUEMA DEL CONO DE VISIÓN.....	9
FIGURA 2.7 ESQUEMA DEL ENFOQUE DE IMAGEN.....	9
FIGURA 2.8 CANALES RGB.....	10
FIGURA 2.9 COMPARACIÓN ENTRE BASTONES Y CONOS.....	10
FIGURA 2.10 EFICIENCIA LUMINOSA VS. LONGITUD DE ONDA.....	12
FIGURA 2.11 EFECTOS DE LA ILUMINANCIA DE ADAPTACIÓN SOBRE LA AGUDEZA VISUAL.....	13
FIGURA 2.12 ESTRUCTURA DEL SISTEMA CIRCADIANO EN MAMÍFEROS.....	16
FIGURA 2.13 DIAGRAMA DIFERENCIAL DE LOS PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS.....	18
FIGURA 2.14 ESQUEMA GENERAL DE DIRECCIONES DE EMISIÓN.....	22
FIGURA 2.15 FACTORES LUMÍNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO.....	35
FIGURA 2.16 DIAGRAMA ISOLUX.....	37
FIGURA 2.17 PUNTOS DE CÁLCULO PARA FOTOMETRÍA.....	47
FIGURA 3.1 MAPA DE CALLES DEL BARRIO LA MARISCAL.....	60
FIGURA 3.2 TRAMO DE ESTUDIO.....	65
FIGURA 3.3 BOMBILLA DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	82
FIGURA 3.4 VISTA FRONTAL LÁMPARA AMBAR 3.....	83
FIGURA 3.5 VISTA LATERAL LÁMPARA AMBAR 3.....	83
FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE BALANCE ENERGÉTICO DE BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	83
FIGURA 3.7 PUNTOS DE MEDIDA VEREDA ORIENTAL.....	91
FIGURA 3.8 PUNTOS DE MEDIDA VEREDA OCCIDENTAL.....	94
FIGURA 3.9 ESQUEMA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	95

LISTA DE CUADROS

CUADRO 2.1 RANGOS FUNCIONALES DE LAS CAPACIDADES DEL SISTEMA VISUAL HUMANO.....	14
CUADRO 2.2 VALORES DE LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN CONDICIONES ESPECÍFICAS.....	19
CUADRO 2.3 COMITÉS NACIONALES MIEMBROS DEL CEI.....	31
CUADRO 2.4 ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA.....	39
CUADRO 2.5 TIPOS DE FUENTES LUMINOSAS EN FUNCIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA DE COLOR E ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA.....	40
CUADRO 2.6 VALORES ESTÁNDAR DE TEMPERATURA DE COLOR.....	40
CUADRO 2.7 VALORES DE TEMPERATURA DE COLOR.....	41
CUADRO 2.8 PONDERACIÓN PARA VÍAS CON TRÁFICO MOTORIZADO.....	50
CUADRO 2.9 CLASE DE ILUMINACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VÍA (TRÁFICO MOTORIZADO).....	51
CUADRO 2.10 PONDERACIÓN PARA VÍAS PEATONALES.....	52
CUADRO 2.11 CLASE DE ILUMINACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VÍA (PEATONAL).....	53
CUADRO 2.12 PONDERACIÓN PARA ZONAS DE CONFLICTO.....	54
CUADRO 2.13 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA ZONAS EN CONFLICTO.....	55
CUADRO 2.14 SISTEMA DE ZONIFICACIÓN.....	57
CUADRO 2.15 VALORES LÍMITE DEL FHS INSTALADO.....	58
CUADRO 3.1 PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA PARROQUIA MARISCAL SUCRE.....	61
CUADRO 3.2 POBLACIÓN Y VIVIENDAS DE LA PARROQUIA LA MARISCAL (2010).....	62
CUADRO 3.3 USO DE SUELO Y COMPATIBILIDAD DE CATEGORÍA MÚLTIPLE (M).....	66
CUADRO 3.4 AUTOMOTORES SENTIDO NORTE – SUR (18:30 - 19:30).....	68
CUADRO 3.5 AUTOMOTORES SENTIDO NORTE – SUR (19:30 – 20:30).....	68
CUADRO 3.6 TOTAL AUTOMOTORES SENTIDO NORTE – SUR.....	69

CUADRO 3.7 AUTOMOTORES SENTIDO SUR – NORTE (18:30 – 19:30).....	69
CUADRO 3. 8 AUTOMOTORES SENTIDO SUR – NORTE (19:30 – 20:30).....	69
CUADRO 3.9 TOTAL AUTOMOTORES SENTIDO SUR – NORTE.....	70
CUADRO 3.10 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA OCCIDENTAL (18:30 - 19:30).....	70
CUADRO 3.11 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA OCCIDENTAL (19:30 – 20:30).....	71
CUADRO 3.12 CANTIDAD TOTAL DE PEATONES VEREDA OCCIDENTAL (18:30 – 20:30).....	71
CUADRO 3.13 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA ORIENTAL (18:30 - 19:30).....	72
CUADRO 3.14 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA ORIENTAL (19:30 - 20:30).....	72
CUADRO 3.15 CANTIDAD TOTAL DE PEATONES VEREDA ORIENTAL (18:30 – 20:30).....	73
CUADRO 3.16 CLASE DE VÍA PARA EL SENTIDO NORTE – SUR.....	73
CUADRO 3.17 CLASE DE VÍA PARA EL SENTIDO SUR – NORTE.....	74
CUADRO 3.18 CLASE PEATONAL VEREDA ORIENTAL.....	75
CUADRO 3.19 CLASE PEATONAL VEREDA OCCIDENTAL.....	77
CUADRO 3.20 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA M2 (VEREDA OCCIDENTAL).....	79
CUADRO 3.21 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA M1 (VEREDA ORIENTAL).....	79
CUADRO 3.22 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA P4 (VEREDA OCCIDENTAL).....	79
CUADRO 3.23 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA P5 (VEREDA ORIENTAL).....	79
CUADRO 3.24 DISTRIBUCIÓN LÁMPARAS.....	80
CUADRO 3.25 PARÁMETROS TÉCNICOS.....	81
CUADRO 3.26 CONSUMO ENERGÉTICO VEREDA ORIENTAL.....	85
CUADRO 3.27 CONSUMO ENERGÉTICO VEREDA OCCIDENTAL.....	85
CUADRO 3.28 EQUIVALENCIA DE HUELLA DE CARBONO.....	87
CUADRO 3.29 RESUMEN DE VALORES VEREDA ORIENTAL.....	89
CUADRO 3.30 NIVELES DE ILUMINACIÓN EN LA VEREDA ORIENTAL.....	90

CUADRO 3.31 NIVELES DE ILUMINACIÓN PEATONAL (VEREDA ORIENTAL).....	90
CUADRO 3.32 NIVELES DE LUMINANCIA VEREDA ORIENTAL.....	91
CUADRO 3.33 RESUMEN DE VALORES DE LA VEREDA OCCIDENTAL.....	92
CUADRO 3.34 NIVELES DE ILUMINACIÓN VEREDA OCCIDENTAL.....	93
CUADRO 3.35 NIVELES DE LUMINANCIA VEREDA OCCIDENTAL.....	93

RESUMEN

Este análisis pretende indagar sobre los factores que intervienen en la presión sobre el recurso energético que es quien abastece a los sistemas de iluminación, y su desperdicio o mala administración puede conllevar a afectaciones a la salud humana, flora y fauna, siendo un impacto al ecosistema urbano en el que nos desenvolvemos diariamente. Dicho impacto no es muy palpable, así como otros de agua o suelo, sino que este se asemeja al de los tubos de escape de cada auto; por sí solos parecen insignificantes, pero en el global con la suma de todos, se tienen grandes consecuencias, y siendo “luz” mal aprovechada, es inclusive, un factor del resplandor nocturno (iluminación inadecuada del cielo), lo cual es un causal de la pérdida del brillo natural del cielo, y un impedimento para la correcta visualización de cuerpos celestes, por lo que se ha convertido en un tema de interés para astrónomos.

Todo este proyecto deriva en un término acuñado hace unos años por los expertos: contaminación lumínica, la cual es todo brillo del cielo nocturno causado por la dispersión difusa de la luz artificial; allí es donde radicó el punto del proyecto. Los resultados arrojados muestran que los niveles de iluminación son parcialmente adecuados, ya que se cumplen los límites medidos, no así los de diseño, resaltando que hay lámparas que ya han dejado de funcionar y que las demás han llegado al final de su vida útil. Además hay que resaltar el hecho de la “pérdida luminosa” de aproximadamente el 22 % del flujo instalado de las lámparas analizadas, lo cual se traduce a niveles de contaminación, desperdicio energético y costos ambientales, valorados en forma monetaria.

Se proponen algunas soluciones como el cambio de lámparas, renovación de tecnologías y rediseño, todo con el fin de estructurar de manera adecuada la ingeniería de los procesos luminosos. Se deriva la conclusión principal del proyecto: las aportaciones energéticas del alumbrado público deben ser ejes fundamentales de la elaboración de perfiles ambientales urbanos.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto tiene la finalidad de evaluar la eficiencia energética del alumbrado público de un tramo de la Avenida 12 Octubre, no reconocida del todo como una de las principales arterias viales de la ciudad, mediante un análisis conjunto entre rendimientos de las luminarias, diseños de las instalaciones, límites de cuantificación luminotécnica, ordenamiento y planificación urbana histórica, dada para el sector.

La metodología aplicada, se basa en la observación y medición in situ de los niveles de iluminación, así como posterior cálculo de los parámetros luminotécnico pertinentes para caracterizar la eficiencia energética. Así mismo se recopiló gran cantidad de información para tener una sólida base teórica de respaldo.

Se utilizaron normativas tanto nacionales, cuanto internacionales, a saber: Reglamento Técnico INEN 069 “Alumbrado Público”, vigente desde abril de 2014, Regulación CONELEC N° 008/11 y CIE 140 para cálculos en vías y carreteras. Además se contó con el apoyo informativo de personeros de la Empresa Eléctrica Quito. El programa de diseño utilizado para la caracterización lumínica es el Ulysse v2.3.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las personas de las generaciones futuras tienen derecho a una Tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro. "La pérdida de las noches con estrellas, patrimonio de generaciones futuras y origen de nuestra cultura y civilización, (mitología, filosofía, cosmología, ciencia, etc.)"

Así como el agua es un elemento que debe protegerse a toda costa, dada su importancia para la vida, y de idéntica forma la calidad del aire y los suelos, ¿por qué no hacer un uso adecuado del recurso energético? Es lo que mueve al mundo. Sin ella estaríamos, sencillamente, volviendo a la época de las cavernas. Poco a poco a través de la historia, el ser humano ha ido desarrollando formas de generar energía desde el descubrimiento del fuego como tal.

Es así, que parece poco lógico desperdiciarla sin medida. Sea cual fuere la fuente: petróleo, hidroeléctrica, geotérmica, etc. Provenga de recursos renovables o no, estamos haciendo uso de estos y si no utilizamos de forma adecuada, están simplemente despilfarrando algo que ya en un tiempo no será nuestro, y pasará como herencia a las futuras generaciones. No es justo heredarles un lugar con "cielos impuros" por así decirlo y con recursos energéticos agotados.

La contaminación lumínica es una consecuencia de los modos de vida actuales y sus requerimientos. No se detecta y casi ni se sienten sus consecuencias, pero en el contexto macro afecta al llamado ecosistema urbano en el cual nos desenvolvemos día a día. Luz perturbadora, intrusiva y que puede generar alteraciones a nivel nervioso, son parte de los efectos que nos atañen directamente. Sin embargo va más allá, una buena instalación de iluminación exterior nos brinda mayor confianza de circulación, cuida la reflexión y desperdicio hacia el cielo, conserva los ciclos naturales de la flora y fauna y racionaliza el consumo energético ligado además al costo monetario que éste último implica.

Con esta premisa se plantea este proyecto, el cual tiene como finalidad hacer un análisis del alumbrado público, el cual consume buena parte de la energía “no productiva” sino de prestación de servicios para seguridad ciudadana y vial en la transportación, por tanto es imprescindible que su diseño y utilización sean óptimos para no incurrir en gastos por energía no utilizada, protegiendo además a eventuales problemas sociales, naturales y de salud asociados.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Es imposible pensar en vivir sin iluminación artificial en el mundo actual, por ello es imperioso que los sistemas que nos dotan de la misma sean eficientes en su funcionamiento, aprovechando el flujo energético de buena forma. De esta forma el consumo eléctrico que dota de energía a las luminarias está ligado a gastos en dinero, por ello, a mejor diseño de sistema de iluminación reducirá costos (pérdidas por ineficiencia).

Lo más probable es que el problema de la contaminación luminosa se “menosprecie” o se lo trate muy por encima en los temas inherentes al ambiente, pero este es un caso similar al de los gases emitidos por los vehículos, el de uno puede ser irrelevante en el contexto global, pero en suma, todos los automóviles ya tienen una repercusión negativa sobre la calidad ambiental.

La evaluación de este impacto exige determinar cuál debe ser la emisión máxima permisible para que la suma de efectos contaminantes no produzca una alteración considerable en el medio.

1.2 ALCANCE

En los procesos de conversión en energía, transporte y su posterior consumo, se generan residuos que contaminan gravemente el medio ambiente (radioactividad, lluvia ácida, contaminación de los mares, contaminación atmosférica por humos tóxicos) y amenazan con alterar el equilibrio climático (efecto invernadero por emisión de CO₂) (Horts, 2006).

El estudio de caso, se concentra en el tramo comprendido entre la intersección de la Avenida 12 de Octubre e Ignacio de Veintimilla, y la esquina de la misma avenida con la calle Madrid. Esto debido a que son sitios de alta concurrencia de gente y que en horas pico nocturnas, aparentemente, no está del todo bien iluminada. Por este motivo, se propone hacer el análisis de la eficiencia para verificar si se tienen en niveles de iluminación correctos, y que no se incurra en desperdicio energético, lo cual implica gasto de dinero y contaminación ambiental.

La importancia de este estudio radica en que el análisis de la eficiencia energética del alumbrado público en el sector El Girón indicará si existe desperdicio o sobreexposición a la luz y contribuirá a plantear una solución estratégica de optimización del uso de las mismas en el sector en cuestión.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar si las lámparas de alumbrado público del sector El Girón cumplen con la eficiencia energética recomendada por las normas internacionales de iluminación mediante el análisis de la misma.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar que los parámetros de iluminación son adecuados para la calle y sus fines pertinentes.
- Comprobar que los niveles de rendimiento del alumbrado no incurran en contaminación lumínica.
- Establecer una posible solución, en caso de que los factores de utilización y eficacia nos sean los óptimos.

CAPÍTULO II

INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 NATURALEZA DUAL DE LA LUZ

La propagación de la luz está gobernada por sus propiedades ondulatorias, mientras que el intercambio de energía entre materia y luz está definido por sus propiedades corpusculares (partículas).

Además se observa que la luz sufre los efectos de refracción y reflexión, fenómenos típicamente ondulatorios.

Pero también experimenta otros fenómenos propiamente corpusculares, como la dispersión de Compton (choque de partículas) o el efecto fotoeléctrico. Este último consiste en la emisión de electrones por un material cuando se hace incidir sobre él, radiación electromagnética (células fotovoltaicas de paneles solares). Estos fenómenos corpusculares se explican porque la luz se comporta como si estuviera formada por partículas, en este caso, fotones.

Cada fotón tiene una energía que viene dada por:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

$E = hf$ = energía fotónica

h = constante de Planck = $6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

c = velocidad de la luz = $300 \cdot 10^6$ m/s

λ = longitud de onda (depende del tipo de emisión)

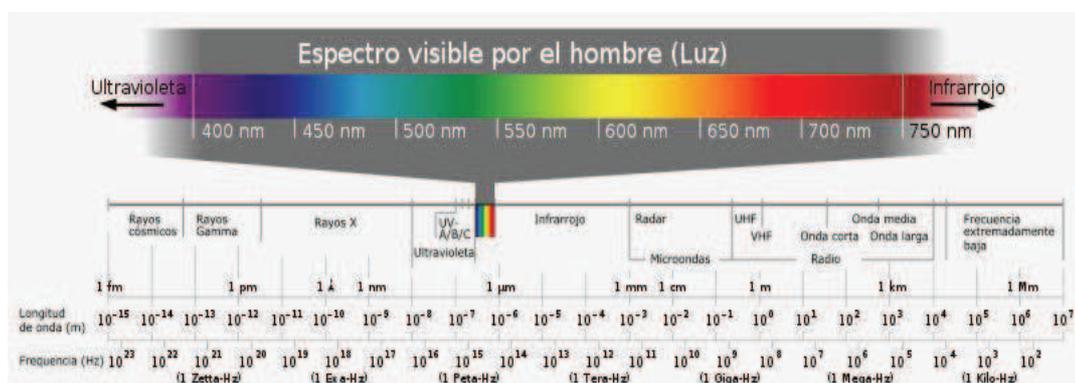
Esta ecuación expresa que cuando se irradia un material con luz, un fotón puede chocar contra un electrón, entregándole una determinada cantidad de energía. Dicha cantidad se la conoce como cuanto.

2.2 ESPECTRO VISIBLE

Está basado en el experimento de Newton, quien hizo pasar un rayo de luz por un prisma de vidrio. Como el ángulo de refracción de un prisma depende de la longitud de onda, cada color en verdad es una luz con una longitud de onda determinada.

Por ello, el espectro luminoso visible se analiza en función de su longitud de onda (o frecuencia). De esta forma se dio cuenta que la luz blanca es la mezcla de todos los colores.

FIGURA 2.1 ESPECTRO VISIBLE AL OJO HUMANO



Fuente: Anónimo

Elaborado por: Anónimo

2.3 ESPECTRO LUMINOSO

Es una distribución de energía irradiada o absorbida por una fuente luminosa o material, respectivamente, ordenadas por las longitudes de onda. Se distinguen dos tipos:

- Espectros de emisión: emitidos por una fuente de luz.

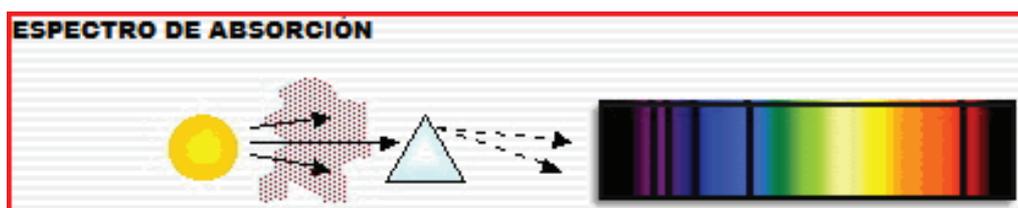
- Espectros de absorción: obtenidos por transmisión de una luz blanca a través de un material.

Para el mismo material, estos 2 espectros son complementarios.

2.3.1 ESPECTRO DE ABSORCIÓN

Ocurre cuando un sólido incandescente se rodea de un gas más frío, por tanto el espectro resultante presenta un fondo interrumpido por espacios oscuros (líneas de absorción), lo que asemeja al negativo de una película, esto puesto que el gas absorbe la luz los colores que éste irradia por sí mismo.

FIGURA 2.2 ESPECTRO DE ABSORCIÓN

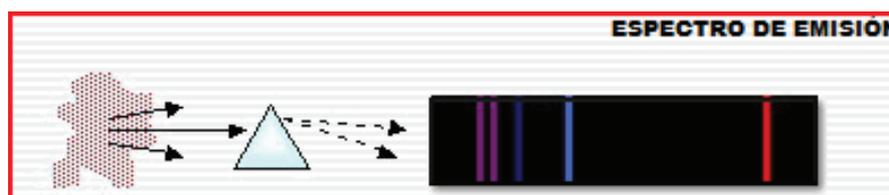


Fuente: Anónimo
Elaboración: Anónimo

2.3.2 ESPECTRO DE EMISIÓN

Producido mediante la estimulación térmica de un determinado elemento en su fase gaseosa, provocando que sus átomos emitan radiaciones en ciertas frecuencias visibles, sin repetirse en ningún caso, puesto que cada elemento tiene su propio espectro de emisión.

FIGURA 2.3 ESPECTRO DE EMISIÓN



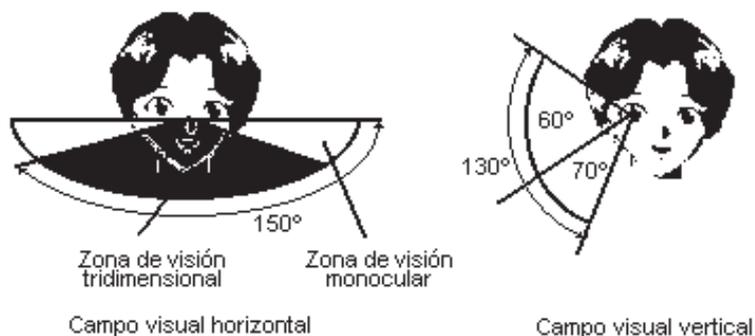
Fuente: Anónimo
Elaboración: Anónimo

2.4 CAMPO VISUAL

Se refiere al área total en la cual los objetos se pueden ver en la visión lateral (periférica), mientras la persona enfoca los ojos en un punto central. Es el espacio geométrico que podemos observar.

Cada ojo ve aproximadamente 150° sobre el plano horizontal y con la superposición de ambos se abarcan los 180° . Sobre el plano vertical 130° , distribuidos 60° por encima de la horizontal y 70° por debajo.

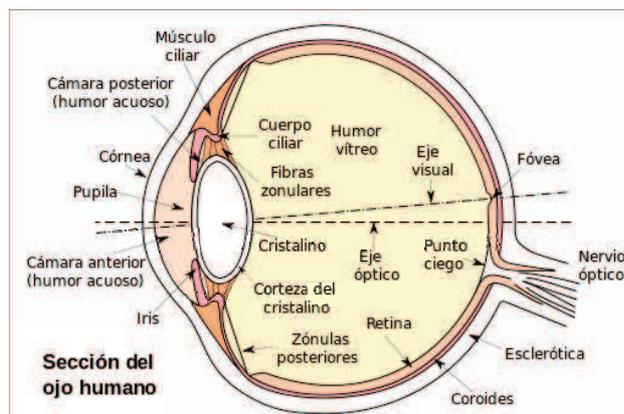
FIGURA 2.4 CAMPO VISUAL HORIZONTAL Y VERTICAL



Fuente: Pasquel, J. (2013)
Elaboración: Anónimo

2.4.1 FISIOLÓGÍA DEL OJO

El ojo es la “ventana” avanzada del cerebro que comprende el bulbo del ojo y el nervio óptico. Es una prolongación del sistema nervioso central que provee $2/3$ de toda la información que el ser humano recibe y procesa oportunamente. Los ojos son sensibles a ondas de radiación electromagnéticas de longitudes específicas. La energía radiante de la luz (fotones) de distinta intensidad, emiten o reflejan los objetos.

FIGURA 2.5 ESTUCTURAS OCULARES

Fuente: Anónimo
Elaboración: Anónimo

2.4.2 PROCESO DE LA VISIÓN

La luz ingresa al ojo pasando a través de la córnea, pupila y cristalino hasta llegar a la retina, donde la energía electromagnética de la luz se convierte en impulsos nerviosos que pueden ser interpretados por el cerebro. Estos impulsos abandonan el ojo a través del nervio óptico. La región más sensible del ojo (visión diurna) es una pequeña depresión de la retina llamada fovea en el cual se enfoca la luz que viene del centro del campo visual.

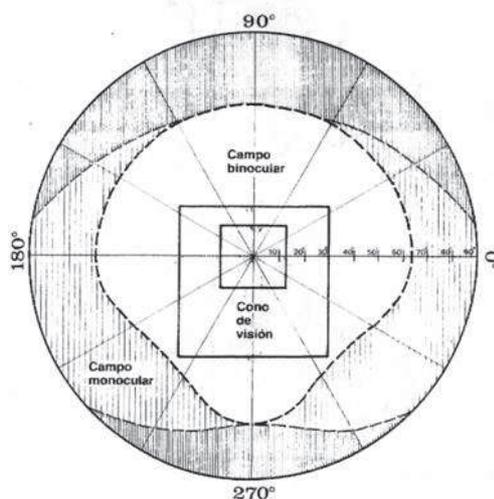
En la retina se desencadenan reacciones químicas (desdoblamiento de la rodopsina en distintos compuestos) que al transformarse en impulsos eléctricos se propagan vía el nervio óptico (1 millón de células) al cerebro. Los nervios ópticos de ambos ojos se reúnen en el quiasma óptico donde confluyen los impulsos eléctricos. Finalmente, el cerebro transforma los impulsos recibidos, en imágenes, dándoles una visión tridimensional.

2.4.3 CONO DE VISIÓN

Es la zona que posee la mayor definición del campo visual. Está limitado por el sector angular entre 30° (fovea) y 60°. En el primero (en el interior del cono) se

pueden diferenciar símbolos y formas sin dificultad. Mientras que la mayor nitidez visual reside en la mácula que ofrece un ángulo de 10° .

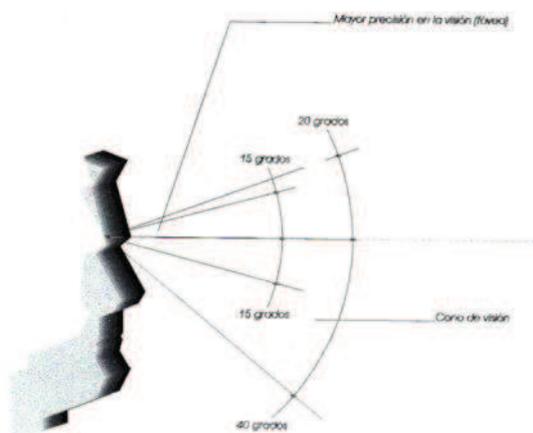
FIGURA 2.6 ESQUEMA DEL CONO DE VISIÓN



Fuente: Anónimo
Elaboración: Anónimo

Aunque el cono de visión permite la observación con mayor grado de definición, el campo visual periférico indica al cerebro la presencia total de la escena exterior y más concretamente del objeto que se desea enfocar. De esta manera, la orienta a enfocar la mácula, ordenando a los músculos oculares y del cuello el lugar de enfoque.

FIGURA 2.7 ESQUEMA DEL ENFOQUE DE IMAGEN

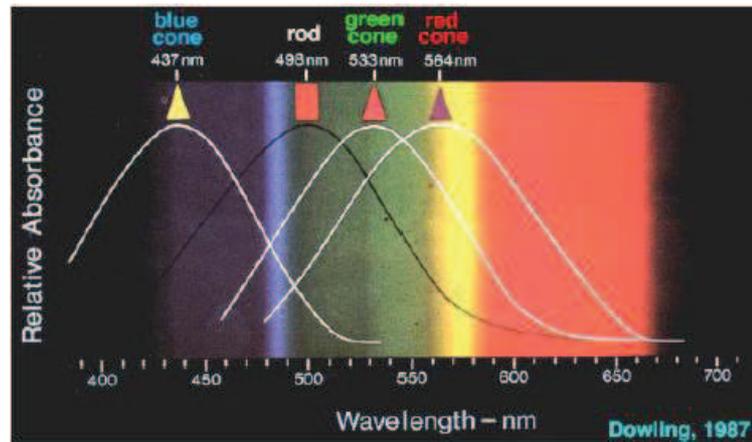


Fuente: Anónimo
Elaboración: Anónimo

2.4.4 PERCEPCIÓN VISUAL HUMANA

- Conos: responsables de la visión del color (visión fotópica – luz diurna). Hay 3 tipos de conos: sensibles al rojo, verde y azul respectivamente.

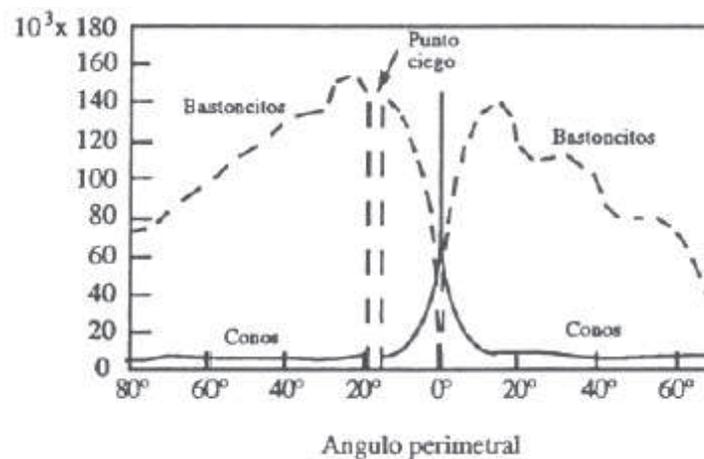
FIGURA 2.8 CANALES RGB



Fuente: Leonardo Assaf
Elaboración: Downing, 1987

- Bastones: se concentran en zonas alejadas de la fovea. Responsables de la visión escotópica (a bajos niveles de intensidad). No son sensibles al color. Tienen mayor sensibilidad absoluta a la luz y en consecuencia se ocupan de la visión nocturna.

FIGURA 2.9 COMPARACIÓN ENTRE BASTONES Y CONOS



Fuente: http://www.lpi.tel.uva.es/lpi/dld/tds1/tema1_2.pdf
Elaboración: Laboratorio de Procesado de Imagen (LPI, 2008)

Ampliando un poco sobre las funciones de las 2 células fotosensibles de la retina, se tiene que:

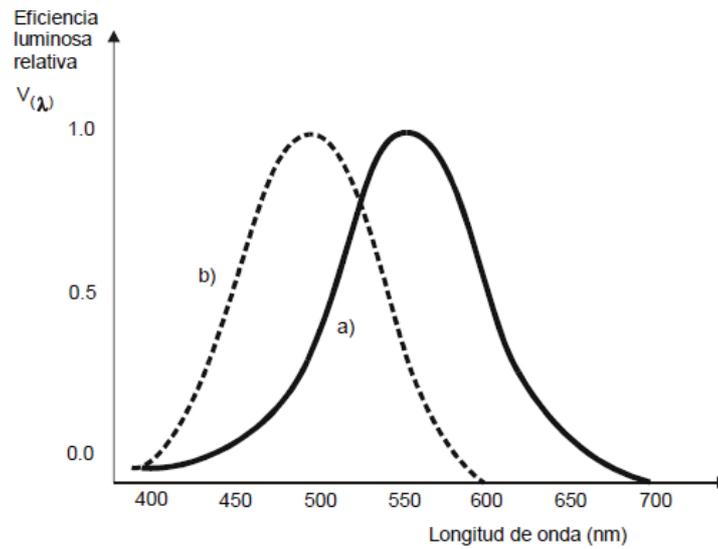
Los conos están concentrados fundamentalmente en una pequeña área central de la retina llamada fovea, por donde pasa el eje visual del ojo, y subtiende un diámetro de aproximadamente 5°. Los bastones, ausentes de la fovea, alcanzan su concentración máxima alrededor de los 20° de la fovea (Colombo & O'Donnell, 2010). La fovea provee una discriminación de detalles, mientras el resto de la retina está destinado primariamente a detectar cambios en el medio visual hacia los cuales se requerirá, luego, la atención de la fovea para una examinación detallada.

Los bastones y conos poseen diferentes sensibilidades espectrales absolutas. El pico de sensibilidad de los conos se encuentra alrededor de 555 nm, mientras que el de los bastones se mueve hacia valores menores de longitudes de onda, aproximadamente a los 507 nm.

2.4.5 EFICIENCIA VISUAL

La eficiencia visual puede definirse como el grado o nivel en que la visión es aprovechada por la persona para obtener información (Lojano & Pañi, 2011). Es una habilidad que se desarrolla, dependiendo de la capacidad visual innata de la persona.

El rendimiento visual se cuantifica a través de la velocidad y la precisión con que realiza una tarea. Los aspectos que afectan a la eficiencia están relacionados con la tarea y su entorno inmediato.

FIGURA 2.10 EFICIENCIA LUMINOSA VS. LONGITUD DE ONDA

- a) Curva de sensibilidad espectral para visión Fotópica (CIE 1927-1970)
- b) Curva de sensibilidad para visión Escotópica (CIE 1978)

Fuente: CIE (1978)
 Elaboración: Leonardo Assaf

2.4.6 CONFORT VISUAL

Es un estado generado por la armonía o equilibrio de una elevada cantidad de variables. Las principales están relacionadas con la naturaleza, la estabilidad y la cantidad de luz, y todo ello en relación con las exigencias visuales de las tareas y en el contexto de los factores personales.

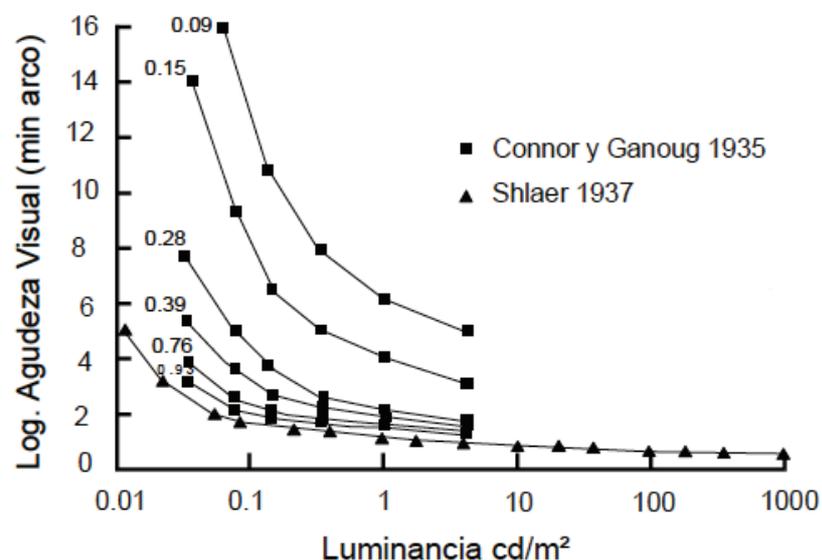
El confort visual es una medida del grado en que las condiciones de iluminación predisponen favorablemente a las personas para realizar la tarea. Los aspectos que influyen el confort involucran parámetros generales del medio ambiente iluminado. Por ejemplo, en una oficina cerrada, puede tener el nivel de iluminación correcto, pero la fuente luminosa puede presentar un parpadeo molesto.

2.4.7 AGUDEZA VISUAL

Es la habilidad del sistema visual humano para resolver detalles. Biofísicamente, es el ángulo subtendido en el ojo por el tamaño del detalle que puede detectarse, discriminarse o reconocerse, de acuerdo a la exigencia de la tarea, en el 50 % de las ocasiones en que es presentado. Indistintamente se utiliza para la definición el recíproco del ángulo.

La agudeza visual depende de la luminancia de adaptación y del contraste, de la excentricidad, del tiempo de presentación, del movimiento del estímulo y de la edad del observador. Sin embargo es poco dependiente de la composición espectral de la fuente, a menos que el rango de emisión sea muy angosto (Colombo & O'Donnell, 2010).

FIGURA 2.11 EFECTOS DE LA LUMINANCIA DE ADAPTACIÓN SOBRE LA AGUDEZA VISUAL



Pruebas con anillos de Landolt, tomando como parámetro el contraste

Fuente: Connor y Gannoug (1935) / Shlaer (1937)

Elaboración: CIE (1989)

A medida que la luminancia de adaptación aumenta, desde condiciones escotópicas a fotópicas, la agudeza visual mejora, es decir el sistema visual es

capaz de detectar, discriminar o reconocer tamaños de detalles cada vez más pequeños.

CUADRO 2.1 RANGOS FUNCIONALES DE LAS CAPACIDADES DEL SISTEMA VISUAL HUMANO

Nombre	Rango [cd/m^2]	Capacidades	Fotoreceptor activo
Fotópico	> 3	Visión de color. Buena discriminación de detalles	Conos
Mesópico	> 0,001 y < 3	Visión de color disminuida. Reducida discriminación de detalles. Corrimiento en la sensibilidad espectral	Conos y bastones
Escotópico	< 0,001	Sin visión de color. Muy pobre discriminación de detalles	Bastones

Fuente: Colombo & O'Donnell (2010)

Elaboración: Colombo & O'Donnell (2010)

2.5 ASPECTOS NO VISUALES DE LA LUZ

Los ritmos biológicos son: el ciclo día/noche (circadiano), el lunar y el estacional. Estos ciclos son importantes ya que las capacidades visuales, el estado de ánimo y la fisiología humana varían dentro de ellos.

2.5.1 CICLO CIRCADIANO

Es un ciclo que regula el comportamiento humano a partir de las variaciones de los ritmos hormonales que ocurren durante 24 horas (secreción de la melatonina, hormona encargada de sueño y el cortisol, encargada de la actividad).

Este ciclo está ligado netamente a las horas de trabajo. El trabajo en horarios nocturnos produce como consecuencia inmediata problemas de fatiga por la necesidad de dormir durante el día y el estado de alerta durante la noche, lo que a

largo plazo puede ser origen de problemas cardiovasculares, gastrointestinales, emocionales y sociales.

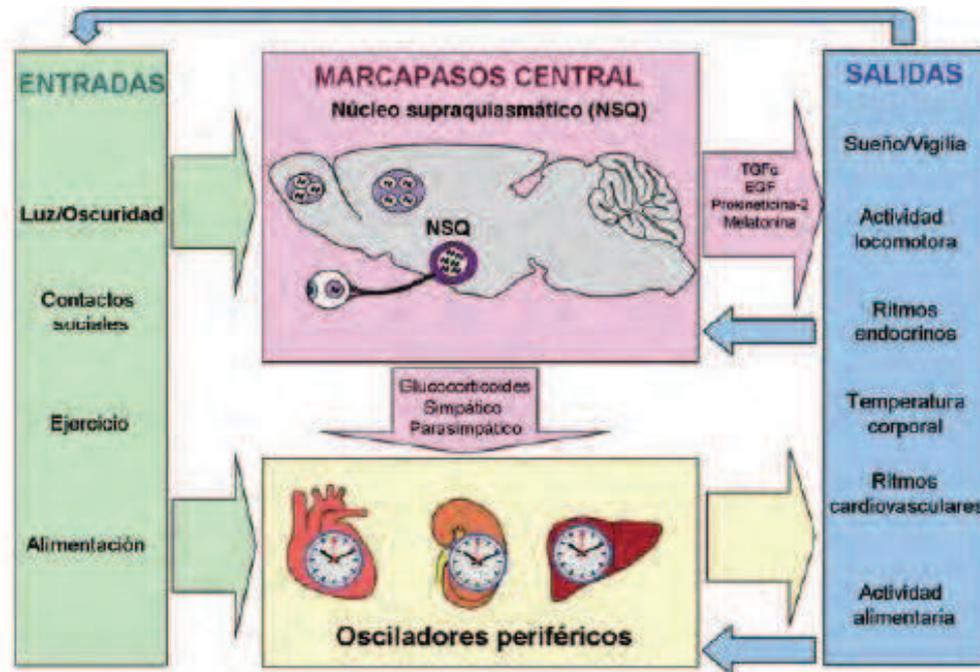
Existen 2 efectos distintos: un corrimiento, en el cual la fase del ritmo circadiano puede ser adelantado o retrasado por exposición a la luz en tiempos especificados, y un efecto agudo relacionado con la supresión de la hormona melatonina en la noche (la cual alcanza su máximo a las 2 de la madrugada). Puede esperarse que ambos efectos acentúen el rendimiento humano en circunstancias correctas.

En las sociedades modernas, el ciclo natural de luz/oscuridad se ha alterado por el abuso de luz artificial durante la noche. Una de las consecuencias fisiológicas directas de la exposición a luz nocturna es la supresión de la síntesis de melatonina. La reducción en los niveles de ésta, se prolongación de la luz al período de oscuridad natural como por exposiciones breves a la luz durante la noche (Rol et al, 2011).

La insuficiente exposición a luz diurna y/o excesiva exposición a luz brillante por la noche, perjudican el funcionamiento del núcleo supraquiasmático (NSQ), quien es responsable de transmitir señales temporales rítmicas a todos los órganos y tejidos a través de mediadores humorales (donde la melatonina juega un papel primordial) y del sistema nervioso autónomo. Afectan a los ritmos del cortisol y melatonina.

Conforme el artículo de Rol et al (2011) “El lado oscuro de la luz: Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana”, existe un precio fisiológico que pagamos al alterar el ciclo. Los desplazamientos semanales de 12 horas en el período luz/oscuridad reducen significativamente la esperanza de vida de hámsters aquejados de miocardiopatía, lo que sugiere que la alteración de los ciclos circadianos podría incrementar aún más el desarrollo de patologías previas. Estudios epidemiológicos muestran una relación estadísticamente significativa entre la cronodisrupción (alteración del circadiano) y el aumento en la incidencia de enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado.

FIGURA 2.12 ESTRUCTURA DEL SISTEMA CIRCADIANO EN MAMÍFEROS



Fuente: Rol, et al (2011)

Elaboración: Garaulet & Madrid (2009)

2.6 MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS

Las fuentes de luz emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Esta radiación se cuantifica con la ayuda de las magnitudes radiométricas. Si se cuantifica solamente la radiación a la que es sensible el ojo humano, estas magnitudes radiométricas se transforman en magnitudes fotométricas.

El parámetro de radiación electromagnética emitida por una fuente es el **flujo radiante** (Φ_{rad}), el cual es la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo y es medida en watts (W). La cantidad de radiación visible, derivada de este flujo, usada para medir el efecto de la luz es el **flujo luminoso**, el cual está definido como “la cantidad de luz que cae en 1 m² de la superficie de una esfera de radio unitario, provista de una fuente colocada en su centro y que emita una candela en todas las direcciones (Manual Schröder, 1994); su unidad es el lúmen (lm).

Conforme las definiciones de la naturaleza física de la luz, Colombo & O'Donnell (2010), conjugan un concepto matemático del flujo luminoso, donde se dictamina que es “la cantidad de energía radiante por unidad de tiempo multiplicada por la sensibilidad espectral relativa del sistema visual humano, integrada sobre el rango de longitudes de onda del visible”, expresada por la ecuación:

$$\Phi_{lum} = K_m \int_{380}^{760} V_{\lambda} \Phi_{rad} d\lambda \quad (2.2)$$

$\Phi_{rad} d\lambda$ = flujo radiante en un pequeño intervalo de longitud de onda $d\lambda$ [watts]

Φ_{lum} = flujo luminoso [lúmenes]

V_{λ} = depende del observador estándar, apropiado al nivel de iluminación

[adimensional].

$K_m = 683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ (condiciones fotópicas); $1669 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Existe la relación entre watts y lúmenes, y se denomina **equivalente luminoso**

$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

2.6.1 INTENSIDAD LUMINOSA (I)

Se define como el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido (w) en una dirección concreta. Su unidad es la candela [cd].

$$I = \frac{\Phi_{lum}}{w} \quad (2.3)$$

El ángulo w se mide en la “esfera integradora de Ulrich” en pruebas de laboratorio.

2.6.2 ILUMINANCIA/NIVEL DE ILUMINACIÓN (E)

Es la densidad de flujo que recibió un punto particular, es decir, es el cociente entre el flujo recibido por un elemento de la superficie que contiene dicho punto y el área de dicho elemento. Se mide en luxes (lúmen/m²) [lx].

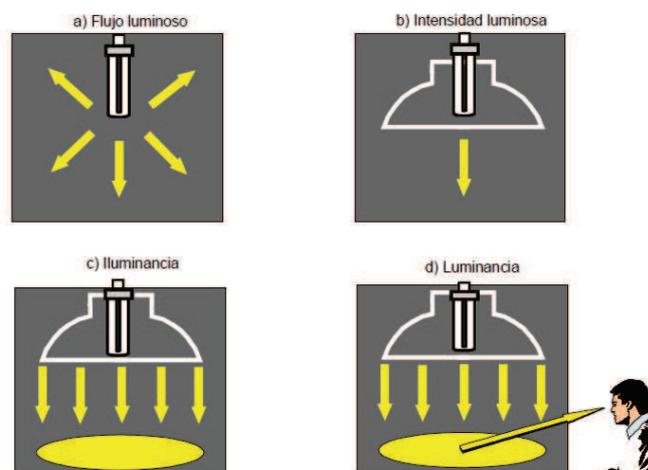
$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.4)$$

2.6.3 LUMINANCIA (L)

Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su unidad es la candela metro [cd/m²].

La candela metro es la unidad de medida de iluminación por metro cuadrado de una superficie situada a un metro de una fuente luminosa puntual de una candela. Esta cantidad es equivalente a una sexagésima parte de la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido a la temperatura de su punto de fusión (2046 K). Cabe destacar que solo vemos luminancias, NO iluminancias.

FIGURA 2.13 DIAGRAMA DIFERENCIAL DE LOS PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS



Fuente: Colombo & O'Donell (2010)
Elaboración: Colombo & O' Donell (2010)

2.6.4 RENDIMIENTO LUMINOSO/EFICACIA LUMÍNICA

Se define como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, dada como característica propia de las lámparas que se utilicen. La unidad es lumen por watt [lm/W].

$$\eta = \frac{\Phi_v}{W} \quad (2.5)$$

Ajustando la emisión espectral de una fuente luminosa para que caiga en la zona más sensible de la respuesta espectral del sistema visual, los fabricantes de lámparas pueden variar la eficacia luminosa de sus fuentes luminosas, es decir, modificar la cantidad de lúmenes emitidos por cada watt de potencia energética utilizado.

CUADRO 2.2 VALORES DE LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN CONDICIONES ESPECÍFICAS

Situación	Iluminancia sobre una superficie horizontal [lux]	Superficie sobre la que se mide la luminancia	Luminancia [cd/m ²]
Luz solar	100000	Papel blanco	10 ⁵ – 10 ⁶
Cielo cubierto	10000	Césped	3000
Puesto de trabajo con pantalla de video	500	Pantalla con fondo gris	10 a 505)
Puesto de trabajo en oficina	500	Papel blanco	100
Zona de circulación	100	Superficie de cemento	10
Alumbrado de calles	10	Superficie de asfalto	1
Noche con luna	1	Papel blanco	0,01

Fuente: Colombo & O'Donell (2010)

Elaboración: Colombo & O'Donell (2010)

Los valores de luminancias que están por encima de este limitado rango son vistos como deslumbrantes y aquellos valores que estén por debajo quedan oscuros, sin ser diferenciados. Las capacidades del sistema visual dependen de la luminancia de adaptación.

En este punto es importante hablar del contraste de luminancia de un estímulo, el cual es una medida de su luminancia relativa al fondo sobre el cual es visto. Cuanto más grande es el contraste de luminancia, más fácil es detectar el estímulo. Por convención (CIE, 1992) se lo define así:

$$C = \frac{(L_o - L_f)}{L_f} \quad (2.6)$$

C = contraste de luminancia

L_f = luminancia de fondo

L_o = luminancia del detalle

Es ampliamente utilizada para estímulos que tienen detalles más oscuros que el fondo, y se obtienen valores entre 0 y 1.

2.7 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA / EFECTOS DE LA DISPERSIÓN DE LUZ

El resplandor difuso del fondo del cielo nocturno constituye la manifestación más conocida de la contaminación lumínica, la cual según Horts (2006) se lo define como el brillo del cielo nocturno producido por la difusión artificial. Esto provoca como resultado que la noche disminuye y desaparece progresivamente la luz de las estrellas y demás astros. La abundancia de partículas en suspensión aumenta la dispersión de luz, de forma que, cuanto más contaminado está el aire de la ciudad, más intenso es el fenómeno (Horts, 2006).

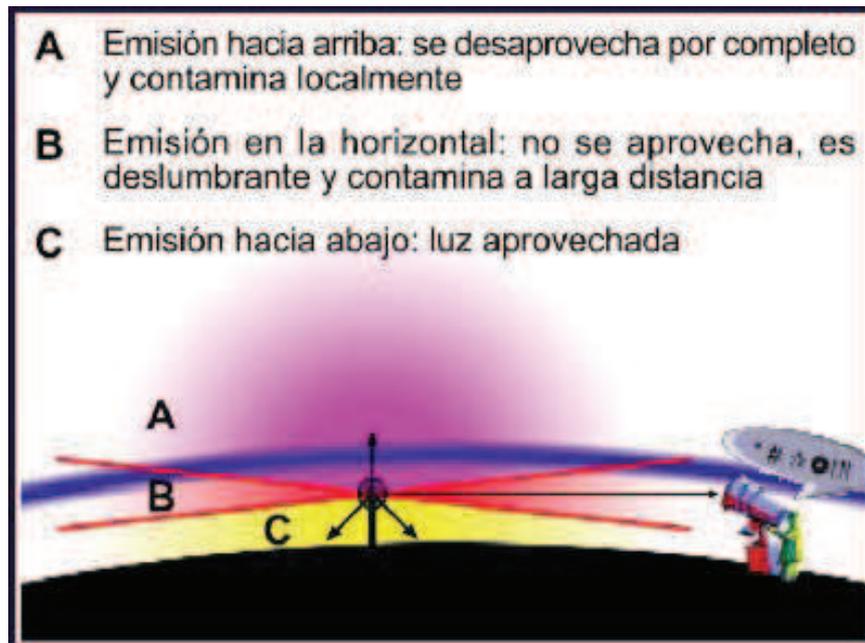
El brillo del cielo de noche resulta de la reflexión de la radiación (visible y NO visible), dispersada por los componentes de la atmósfera (moléculas de gas, aerosoles y partículas de materia) en la dirección de la observación (CONAMA, 2009). Consta de 2 componentes independientes:

- **Brillo natural:** producido por la radiación de los astros y por los procesos luminiscentes que tienen lugar en las zonas altas de la atmósfera.

- **Brillo artificial:** es atribuible a fuentes de radiación artificiales, tanto las que emiten directamente su luz hacia el cielo, como las que dirigen el flujo luminoso hacia las superficies u objetos que reflejan parte de la luz recibida hacia la atmósfera. Este último se le denomina resplandor luminoso nocturno.

En definitiva, el brillo del cielo urbano es resultado la suma de toda la luz que escapa de las ciudades, y se dispersa en la atmósfera, aumentando, o modificando el brillo natural propio del cielo, lo cual lleva a pensar que la iluminación externa y toda fuente de luz que no sea colocada adecuadamente en la calle puede incidir en el aumento del brillo nocturno. Hernández (1998), en su tesis de “Ahorro de energía y reducción de la contaminación lumínica”, asevera el hecho que el alumbrado público, confirma este hecho, al asegurar que el alumbrado público es responsable del 50 % del brillo urbano del cielo es debido a que la luz dirigida hacia el pavimento es reflejada hacia arriba a niveles de reflectancia que van desde el 6 % para el asfalto a un 25 % (10 % en promedio del flujo total emitido) para el concreto y que se ve incrementado por los deficientes sistemas de iluminación.

FIGURA 2.14 ESQUEMA GENERAL DE DIRECCIONES DE EMISIÓN



Fuente: Herranz, 2009

Elaboración: Jáuregui & Cielo Buio, 2009

En el caso de impacto de general, el comportamiento se asimila en cierto modo al tubo de escape de un automóvil. El impacto de uno solo puede ser “insignificante” pero la suma de emisiones, ya produce resultados adversos considerables. En el campo de la luminotecnia, el parámetro caracterizador de medida de impacto, e incluso incorporado en las normativas técnicas, es el Flujo Hemisférico Superior (FHS), el cual es un inadecuado, conforme los estudios de Herranz (2009) sobre la física de la difusión de luz. En su lugar propone que el término de cuantificación correcto es la intensidad luminosa de la luminaria en cada dirección de emisión por unidad de flujo total emitido, la cual es obtenida en pruebas de laboratorio, conforme la distribución luminosa de la luminaria. La propagación de luz artificial en la atmósfera hace que sus efectos contaminantes se manifiesten a cientos de kilómetros de la emisión, lo que asimila a las contaminaciones químicas, siendo la principal diferencia en esta analogía, que las segundas depende casi exclusivamente de la dosis (cantidad), mientras que las primeras tienen que ver también con la dirección de emisión.

Para impactos locales, éste viene dado por el flujo que llega a la superficie o al sujeto afectado, por lo que los parámetros de interés son los niveles de

iluminación horizontal o vertical (luxes) o los ligados al sujeto receptor en sí, como el deslumbramiento. En este caso las áreas más afectadas son las situadas en el entorno inmediato de la instalación de alumbrado (Herranz, 2009).

“Pero no sólo exige preocupación dentro de las zonas con mayor protección, sino también en las áreas externas a ellas dado que la contaminación lumínica no es un fenómeno local, puesto que la luz, tanto natural como artificial, se esparce en la atmósfera de diversas formas (fenómenos físicos de Rayleigh y Mie). Al primero se debe el color azul del cielo en las horas centrales del día y el rojizo en las puestas de sol, dado el mayor esparcimiento de las longitudes de onda corta frente a las largas. En concreto la intensidad del fenómeno es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Por ello la componente azul del espectro visible y la UV se esparce con mayor intensidad en la atmósfera que la parte roja de los distintos tipos de lámparas existentes en el mercado, especialmente en las de luz blanca. El segundo produce el esparcimiento de la luz en direcciones preferentemente alineadas a lo largo de la dirección de propagación debido a las partículas en suspensión, lo que hace que el flujo emitido por luminarias con ángulos de emisión entre 0 - 5° desde la horizontal, tengan un efecto desproporcionado en el resplandor luminoso nocturno a decenas de kilómetros de la fuente. Por ejemplo, luminarias con FHSinst = 3% producen entre un 80% y un 290% más de resplandor luminoso a 50 km y 200 km, respectivamente, que luminarias con FHSinst 0%, y en un núcleo urbano con un 10% de FHSinst, la emisión directa produce las 3/4 partes del resplandor a 50 km y más de las 9/10 partes del resplandor a 200 km.” (Malón & Bañuelos, 2011).

2.7.1 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El problema de la contaminación lumínica no sólo constituye una amenaza para los astrónomos. Las personas que no tienen ningún interés en la astronomía están afectados por la intrusión de luz en sus propiedades, ya sea un farol alumbrado que brilla en su habitación o en el peligro causado a los conductores de los reflejos de mal diseñado y colocado farolas y faroles. Contaminación lumínica también tiene numerosos impactos directos sobre el medio ambiente. No sólo

algunas luces de alta potencia producen más dióxido de carbono durante un año de un moderno automóvil diesel produce en unos 500 kilómetros, pero la presión sobre la fauna silvestre en las zonas urbanas y las rurales es genial. La contaminación lumínica es también un derroche innecesario de energía que a la larga se traduce en un gran costo innecesario a las economías de todo el mundo. (UAI, 2013)

a) Ecológicos

El exceso de iluminación tiene efectos negativos sobre los animales, debido a que la alteración de la oscuridad natural de la noche, tiene efectos estresantes sobre ciertas especies, provocando en algunos casos cambios de conducta bruscos, y en algunos incluso la muerte.

La proyección de luz en medio natural origina fenómenos de deslumbramiento y desorientación de las aves, y una alteración de los ciclos de ascenso y descenso de plancton marino, lo que afecta a la alimentación de especies marinas que habitan en las cercanías de las costas (Horts, 2006), ocasionando una alteración directa de la cadena trófica. También incide sobre los ciclos reproductivos de los insectos, algunos de los cuales atraviesan distancias considerables para encontrarse con sus pares y no pueden pasar por las “barreras de luz” que forman los núcleos urbanos iluminados. Además influye sobre el equilibrio poblacional de las especies, porque algunas son ciegas a ciertas longitudes de onda y otras no, lo que puede favorecer de cierta forma a depredadores inmunes.

La flora también se ve afectada, puesto que al incidir sobre la población y orientación de insectos, el proceso de polinización se ve alterado. A pesar que los estudios siguen siendo incipientes en este campo, es palpable y evidente que puede afectar a la larga a la productividad de ciertos cultivos.

b) Económicos

El consumo de energía desaprovechada implica un gasto innecesario, por lo tanto, es dinero desperdiciado. La paga excesiva por electricidad, que en nuestro caso aproximadamente el 11 % del consumo se paga extra por servicio de alumbrado público, se da por el aumento de consumo, incremento de costes de distribución y todos los gastos implicados en la dotación del servicio siendo a largo plazo un gasto innecesario y que NO está en nuestras manos, ya que si no es eficiente el alumbrado público, no interfiere en el cobro que se nos hace a los usuarios, que no tiene un costo fijo, sino que está directamente ligado al consumo de energía de nuestros hogares.

En un análisis macro realizado por Horts (2006) indica que si se corrigieran las instalaciones de alumbrado público, cambiando a lámparas más eficientes, o rebajando las potencias de las luminarias, ahorraríamos porcentajes mínimos de un 25 % en la factura de luz, alcanzando inclusive 40 % en ciertos casos. La exigencia de ofrecer al mercado nuevas luminarias NO contaminantes y lámparas más eficientes, puede suponer, un revulsivo para la competitividad del sector.

c) Culturales

La destrucción del paisaje celeste priva de cierto modo al individuo de un contacto directo con el universo, lo que genera un empobrecimiento cultural y personal. En las sociedades industriales, donde el volumen de información acerca del cosmos está a disposición de cualquiera y es cuantiosa, se da la situación irónica que los individuos desconocen de cerca los aspectos del universo espacial, que si lo comparamos con personas de zonas rurales, que pueden saber más sobre astros, al sentirlos mucho más cercanos (Horts, 2006).

Los ciclos cósmicos y su vinculación a la agricultura (y la tradición) han generado a lo largo de los tiempos un patrimonio cultural y folclórico (sobre todo en sociedades rurales) que está desapareciendo a pasos agigantados: el conocimiento de las constelaciones, con todas las historias vinculadas a ellas, su posición en el cielo en relación a la época del año; su relación con las tareas agrícolas; posibilidad de observar fenómenos celestes, entre otras, constituyen

una relación de cuestiones para el recuerdo. El desarraigo que afecta al hombre de la urbe, no es solo consecuencia de su falta de contacto con la naturaleza, sino de una inevitable pérdida del sentido de existencia en relación con el cosmos.

d) Seguridad vial y ciudadana

El exceso de iluminación y el deslumbramiento dificultan la visión de los conductores y suponen, un aumento de la inseguridad vial. Por tanto, las luminarias que no recubran completamente la bombilla o no respondan a los niveles de iluminación adecuados, que deslumbren o estén mal orientados, representan factores de riesgo para tener en cuenta.

El alumbrado de carreteras representa un punto crítico en esta materia. Se tiende a iluminar con exceso de potencia el mayor número posible de tramos de carretera, con la creencia que ello supone un aumento de la seguridad vial, lo cual no es del todo cierto. Por ejemplo, en tramos totalmente iluminados, los conductores corren mucho más rápido, lo que deriva en un mayor riesgo de ocupación peatonal, por el factor velocidad.

Lo más incongruente cita Horts (2006). “nadie parece pensar en el hecho elemental de que el alumbrado público en carreteras debería diseñarse de acuerdo con las peculiaridades de la visión nocturna, en vez de empeñarse en convertir, la noche en día”.

e) Astronómicos

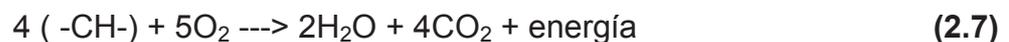
La emisión indiscriminada de luz hacia el cielo y su dispersión en la atmósfera constituyen un evidente daño al paisaje nocturno, al ocasionar la progresiva desaparición de los astros. Algunos de ellos no tienen brillo puntual como las estrellas, sino que son extensos y difusos (nebulosas y galaxias), por ende son los primeros en resultar afectados. Su visión depende del contraste existente entre su tenue luminosidad y la oscuridad del fondo del cielo.

El resplandor difuso del cielo nocturno constituye la manifestación más conocida de la contaminación lumínica. En astronomía se procede de manera regular a la medida del brillo aparente de los astros de acuerdo al sistema de magnitudes estelares de Norman Pogson (1856), lo que constituye la actual fotometría astronómica. Cuando se mide el brillo de un astro, el procedimiento incluye ineludiblemente la estimación del brillo del fondo de cielo (Galadí, 2009).

El procedimiento habitual en fotometría consiste en disponer de un conjunto de estrellas de magnitudes conocidas en la banda espectral en la que se desea trabajar, y a lo largo de la noche de trabajo se dirige el aparato de medida (telescopio equipado de un detector de algún tipo, como película fotográfica, fotómetro fotoeléctrico, cámara CCD u otros) alternativamente a las estrellas de brillo conocido (estrellas estándar) y a las estrellas de brillo desconocido (estrellas problema). La comparación de los brillos detectados permite deducir las magnitudes de las estrellas problema.

2.8 COSTO AMBIENTAL

La iluminación está contribuyendo a un aumento de los gases de efecto invernadero, tanto así que Reino Unido contribuye con el 3% de las emisiones globales de gases invernadero con sólo un 1% de la población mundial. Para generar 1 kW h de electricidad utiliza aproximadamente 1 libra (0.5 kg) de carbón y produce 2 libras (0.9 kg) de las emisiones de dióxido de carbono. La ecuación química es:



Donde:

CH = hidrocarburos=carbón

O = oxígeno

H = hidrógeno

CO₂ = dióxido de carbono

2.8.1 COSTO POR ILUMINACIÓN DE “FOCOS DE SEGURIDAD”

Los focos de seguridad son fuentes de luz (reflectores), cuya acción es automática y programable, la cual responde a estímulos de movimiento externos mediante un sensor. Normalmente se instalan en casas o galpones industriales con fines de seguridad, con un propósito claro: sin movimiento, no tienen por qué encenderse después de su hora normal de apagado. Solo se encienden cuando detectan movimiento.

Basta imaginar 500W de luz durante toda la noche todo el año: $500W * 4400 \text{ horas/año} * 2lb = 4.400 \text{ libras de emisiones de CO}_2 \text{ por año}$. (Igual a 312 piedras/año, o lo que es lo mismo 2.000 kg/año, o más de 2 toneladas por año). Afortunadamente, la mayoría de los reflectores cuentan con un switch (sensor) infra-rojo, por lo que el cálculo no es tan extremista como se expone. Sin embargo, la mayoría se activan innecesariamente cuando, por ejemplo, un gato camina, por lo se considera que una fuente de luz está encendida una media hora en la noche. Hay 22 millones de viviendas en el Reino Unido, por lo que si uno de cada diez tiene un foco reflector 500W, entonces habría 2,2 millones de luces. Si una luz promedio está encendida media hora por noche, entonces la estadística nacional británica es $(2,2 \text{ M} \times 500 \text{ W}) \times 0,5 \text{ horas por noche} = 550.000 \text{ kWh /noche}$. Cada año, esta debe ser multiplicado por 365 = 200 millones kWh/año. Si 1 kwh produce 0,9 kg de CO₂, a unos 180 millones de kg/año de CO₂ se producen como un subproducto de la generación eléctrica necesaria para reflectores domésticos dentro del Reino Unido (80kg por 500W de luz al año, suponiendo que la luz es sólo de 30 minutos por noche).

2.8.2 COSTO COMPARATIVO DE LOS “FOCOS DE SEGURIDAD” CON AUTOMÓVILES

Un nuevo coche a diesel produce la misma cantidad de contaminación, como un típico reflector simple de 500W (80kg por año) de 550 km (150 g de CO₂/km), y un coche viejo en unos 170 km (cifras de la Sociedad de los fabricantes de vehículos de motor y los comerciantes). La iluminación, en cierto punto, puede

ser más contaminante que parte de parque automotor. Ese mismo coche diésel tendría que viajar 1,2 mil millones de kilómetros para producir la misma cantidad de CO₂ (180 millones de kg/año) como los producidos por todos los reflectores domésticos del Reino Unido. O a su vez, 120.000 coches tendría que viajar 10.000 km por año. Esto significa que la cantidad de CO₂ producida por los faroles por sí solo es estadísticamente similar a la producida por el uso de vehículos de una ciudad de 228.000 personas.

2.8.3 COSTO POR EXCESIVA ILUMINACIÓN VIAL

Existen 7,5 millones las luces de las calles en el Reino Unido, la media es de 100 W, que normalmente desperdician un 15 % de su luz directamente hacia arriba, por encima de la horizontal. Hasta un 15 % de la luz es dirigida donde no es necesario o lugares no seshados. Esta cantidad equivale a unos 131 kWh derrochados de energía por año y poste de luz. Desde una central eléctrica a carbón genera 0,9 kg de CO₂ por kwh, un solo semáforo genera alrededor de 120 kg al año de CO₂ más de lo necesario. Multiplicando esto por el alumbrado público, 7,5 millones en el Reino Unido, un total de 830.000 toneladas de CO₂ de contaminación que es producida por la energía desperdiciada por alumbrado público.

La cantidad total de pérdida de energía por encima de la horizontal es de 110 MW, y si se incluye el otro 15% de luz no direccionada está incluido, se desperdician unos 220 MW en total al año. Desde la capacidad de generación de energía eléctrica de gran tamaño es 1 Gwatt (1.000 megavatios), y la tasa típica de generación es de 0,5 GWatts, ésta “electricidad perdida” es equivalente a la mitad una central eléctrica.

2.9 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

2.9.1 ANTECEDENTES

La Comisión Internacional de Iluminación (usualmente conocida como CIE por sus iniciales de su designación en francés: Commission Internationale de l'Eclairage) es la principal autoridad internacional en el campo de la luz y la iluminación entendido en un sentido amplio. Esta organización está dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de información entre sus países miembros sobre todas las materias relacionadas con la ciencia y el arte de la iluminación.

Según sus estatutos actuales, la CIE es una organización técnica, científica y cultural sin fin de lucro, cuyos objetivos específicos son:

- Proveer un foro internacional para la discusión de todas las materias relacionadas con la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación entre los países en esa materias.
- Desarrollar patrones básicos y procedimientos metrológicos en el campo de la luz y la iluminación.
- Proveer directivas en la aplicación de principios y procedimientos en el desarrollo de normas nacionales e internacionales en el campo de la luz y la iluminación.
- Preparar y publicar normas, informes y otros textos relativos a las materias propias de la luz y la iluminación.
- Mantener una conexión y una interacción técnica con otras organizaciones internacionales relacionadas con las materias propias de la ciencia, la tecnología, la normalización y el arte en los campos de la luz y la iluminación.

Las normas y recomendaciones desarrolladas por la CIE son unánimemente aceptadas en todo el mundo (en 2013 celebraron su centenario de existencia). La CIE ha sido reconocida por la Organización Internacional para la Normalización (ISO) como una corporación de normalización internacional. Los miembros de la CIE son llamados "Comités Nacionales" que representan a sus países, que

cuentan con la representatividad y la cooperación de todas las entidades interesadas en las materias de luz e iluminación dentro su correspondiente territorio. En la actualidad la CIE cuenta con 37 Comités Nacionales, a saber

CUADRO 2.3 COMITÉS NACIONALES MIEMBROS DEL CEI

Alemania	Holanda
Australia	Hong Kong
Austria	Hungría
Bélgica	India
Brasil	Israel
Bulgaria	Italia
Canadá	Japón
China	Noruega
Corea del Sur	Nueva Zelanda
Croacia	Polonia
Eslovaquia	Rumanía
Eslovenia	Rusia
España	Serbia
Estados Unidos	Sudáfrica
República Checa	Suecia
Dinamarca	Suiza
Finlandia	Tailandia
Francia	Turquía
Gran Bretaña	

Fuente: CEI, 2013

Elaboración: CEI, 2013

Como se aprecia en el cuadro anterior, Ecuador no consta en el listado, y el único país sudamericano miembro es Brasil. Por ello, para los fines pertinentes de este proyecto, también se utilizarán documentos siguientes:

- Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación (2001) - CEI (Centro Español de Iluminación), debidamente aprobado por el CIE (no confundir ambos términos), uno de los entes que cuenta con gran cantidad de estudios en materia de luminotecnia y afines.

- Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN RTE – 069 (2013), Publicado en el Registro Oficial el 17 de octubre de 2013 y cuya entrada en vigencia es el 15 de abril de 2014.
- Norma CIE 140 “Cálculos de iluminación de carreteras” (2006). Reporte Técnico Oficial de la Comisión Internacional de Iluminación.
- Regulación No. 008/11 del CONELEC como Autoridad Ambiental Responsable, cuya competencia entra en rigor por facultad entregada por el Reglamento Ambiental de Actividades Eléctricas.

2.9.2 DEFINICIONES

Alumbrado Público: constituye la iluminación de zonas públicas o privadas, destinadas a la movilidad, ornamentación y seguridad; incluye al alumbrado público general, ornamental e intervenido.

Alumbrado Público General: es la iluminación de vías de libre acceso para todas las personas y/o vehículos. Excluye la iluminación de zonas comunes de unidades inmobiliarias cerradas, declarada como propiedad horizontal, la iluminación pública ornamental e intervenida.

Alumbrado Público Ornamental: constituye la iluminación de zonas como parques, plazas, iglesias, monumentos y todo tipo de espacios cuya iluminación se aparta de los niveles establecidos en la Regulación No. CONELEC – 008/11, dados que estos obedecen a criterios estéticos determinados por el municipio o por el órgano estatal competente.

Alumbrado Público Intervenido constituye la iluminación de vías que, debido a planes o requerimientos municipales, no cumplan los niveles de iluminación establecidos en la regulación en cuestión.

Consumidor: cualquier persona natural o jurídica capaz de contratar, que habite o utilice un inmueble que recibe el servicio eléctrico debidamente autorizado por el distribuidor dentro de su área de concesión. Incluye al consumidor final y al gran consumidor.

Servicio de Alumbrado Público General – SAPG: comprende actividades de: administración, operación, mantenimiento, modernización, reposición y expansión del sistema de alumbrado público general. Dentro de este servicio se incluye los consumos de energía del alumbrado general, ornamental, sistemas de semaforización, sistemas de seguridad y alumbrado intervenido.

Sistema de Alumbrado Público General: comprende el conjunto de luminarias, redes y equipos necesarios para la prestación del servicio de alumbrado público, que no formen parte del sistema de distribución.

Sistema de alumbrado público ornamental e intervenido: comprende las actividades de administración, operación y mantenimiento, inversión y reposición de luminarias, redes y equipos necesarios para la prestación del alumbrado ornamental e intervenido.

Usuarios SAP: son todas las personas que utilizan el servicio de alumbrado público general, para su movilidad, dentro del territorio nacional.

Pago de SAPG: los consumidores del servicio eléctrico, personas naturales o jurídicas serán los responsables de pago de SAPG, a través de una tarifa que cubra los costos para la prestación de este servicio

Deslumbramiento: condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. La excesiva luminancia de lámparas y de superficies iluminadas, puede generar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos.

Zonas de conflicto: lugares en los cuales los criterios de iluminación son de difícil aplicación tales como: cruce de vías, redondeles o vías diseñadas especialmente para aplicaciones particulares como ciclorrutas, paseos de parque, entre otros.

Además incluyo las siguientes definiciones que son necesarias para los fines que pretende este proyecto:

Balasto: es un dispositivo electromagnético, electrónico o híbrido que limita la corriente de lámparas y, cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido.

Lámpara de alta intensidad de descarga: produce luz por una descarga eléctrica en arco mantenida en gas o vapor ionizado; algunas veces en combinación con la luminiscencia de los compuestos de fósforo excitados por la radiación generada en la descarga. Las lámparas de descarga funcionan con un dispositivo (balastro) que limita la corriente que lo atraviesa, debidamente conectado al circuito. Las lámparas de vapor de sodio en alta presión, aditivos metálicos y vapor de mercurio son de descarga de alta intensidad.

Luminario: conjunto de elementos integrados y autocontenidos para el aprovechamiento, control y soporte de fuentes luminosas.

Luminario para alumbrado público: dispositivo que distribuye, filtra o controla la radiación luminosa emitida por una o varias lámparas y que contiene todos los accesorios necesarios para fijar, sostener, proteger y conectarlas al circuito de alimentación.

2.9.3 REQUISITOS DE DISEÑO E INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO

2.9.3.1 Reconocimiento del sitio y objetos a iluminar

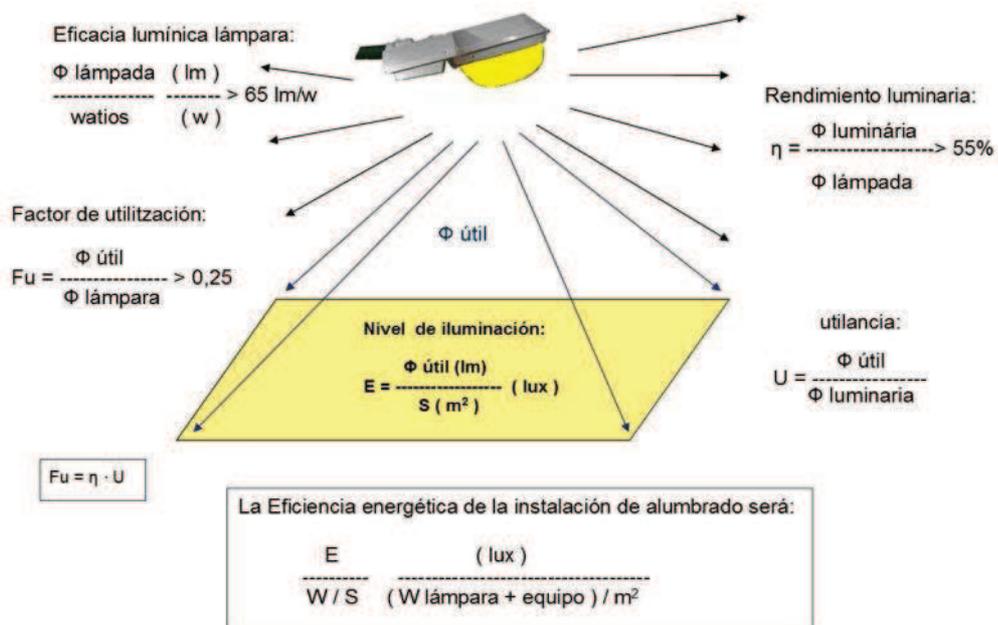
Se deben conocer las condiciones físicas y arquitectónicas del sitio o espacio a iluminar, sus condiciones ambientales y su entorno. Dependiendo de tales

condiciones se toman las decisiones adecuadas conforme las necesidades, porque no es lo mismo iluminar un parque, una plaza o una calle. Son determinantes en una buena iluminación conocer aspectos como el color de los objetos a iluminar, el contraste con el fondo cercano, circundante, el entorno, el tamaño y brillo del objeto.

2.9.3.2 Requerimiento de iluminación

Se debe tener en cuenta los niveles óptimos de iluminación requeridos en la tarea a desarrollar, las condiciones visuales de quien las desarrolla, el tiempo de permanencia y los fines específicos de la iluminación. En todo proyecto de alumbrado público se debe estructurar un plan de mantenimiento del sistema que garantice atender los requerimiento de iluminación durante la vida útil del proyecto, garantizando los flujos luminosos dentro de los niveles permitidos (flujo mantenido) (RTE 069, 2013).

FIGURA 2.15 FACTORES LUMÍNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO



Fuente: Ollé, 2010

Elaboración: Ollé, 2010

2.9.3.3 Selección de fuentes luminosas

En todos los proyectos de iluminación se deben elegir las fuentes luminosas teniendo en cuenta la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color, duración y vida útil de la fuente, en función de las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar; así como consideraciones arquitectónicas y económicas (RTE 069, 2013).

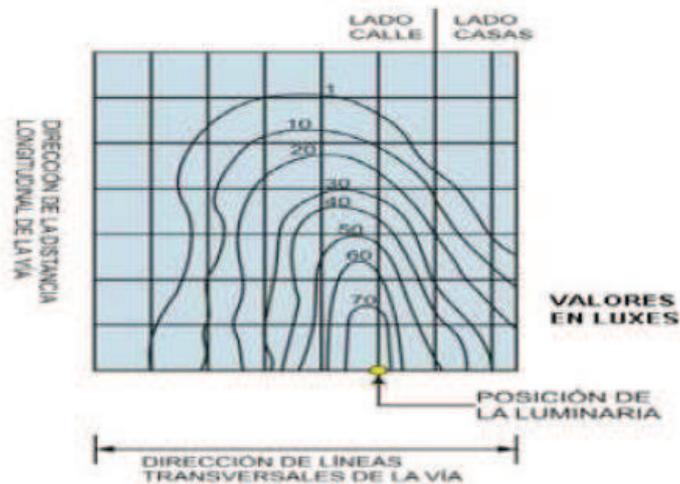
2.9.3.4 Documentos fotométricos

Para identificar, clasificar y seleccionar las fuentes y luminarias es necesario conocer sus parámetros mediante los documentos fotométricos que deben suministrar los fabricantes y distribuidores:

- a) Matriz de intensidades: es el principal documento fotométrico de cualquier fuente de luz o de cualquier luminaria y muestra la información de distribución de la intensidad lumínica de la fuente.

- b) Diagrama isolux: es una representación a escala de los niveles lumínicos que se alcanzarían sobre algún plano horizontal de trabajo en relación con la altura de montaje. Permite realizar cálculos manuales bastante precisos punto a punto en instalaciones de alumbrado público, industriales o deportivas. El diagrama isolux debe cubrir un área comprendida sobre el plano de trabajo horizontal normal de la luminaria en sentido transversal entre -2,5 y +5,0 veces la altura de montaje. En el sentido longitudinal cubre desde 0,0 hasta +7,0 veces la altura de montaje. Lo anterior, asumiendo que la luminaria se encuentra en el punto 0,0

FIGURA 2.16 DIAGRAMA ISOLUX



Fuente: RTE 069, 2013
 Elaboración: RTE 069, 2013

El diagrama isolux debe expresar con claridad dos referentes, con el fin de establecer aspectos respectivos de corrección: la altura de montaje a la que está referido (permite establecer escala) y el flujo luminoso de la fuente de luz con la que se realizó. Las diferentes curvas del diagrama se deben expresar en luxes.

La curva de mínimo valor isolux en el diagrama, debe permitir el cálculo de niveles de iluminancia hasta de 1 lux, cuando la luminaria esté ubicada en la altura de montaje recomendada por el fabricante y tenga la lámpara igualmente recomendada para su uso.

El factor de corrección por la altura de montaje se establece en términos de $(h_0/h_m)^2$ donde h_m corresponde a la altura de montaje del proyecto en tanto que h_0 corresponde a la altura a la cual se obtuvo la curva isolux presente.

El factor de corrección por los lúmenes de la lámpara, es directamente proporcional y se expresa como (ϕ_1/ϕ_0) , donde ϕ_1 son los lúmenes del proyecto actual y ϕ_0 los lúmenes con los cuales se representa la curva isolux.

c) Diagrama polar de intensidad luminosa: corresponde a uno o varios planos **C** específicos en un diagrama isocandela. En el modelo CIE, los planos utilizados

para conformar diagramas polares son: el que queda justo al frente y atrás de la luminaria (planos $C^1 = 90$ y 270 respectivamente) y el que contiene el valor de la máxima intensidad.

Su principal utilización debe ser para establecer la clasificación de las luminarias con relación al control que tengan sobre las componentes de la luminaria que contribuyen a efectos deslumbrantes sobre los usuarios (RTE 069, 2013).

2.9.3.5 Documentos adicionales

- Duración o vida útil de la fuente lumínica: uno de los factores a tener en cuenta en todo proyecto de iluminación es la vida útil de la fuente, por lo que el fabricante debe suministrar la información sobre el particular.
- Curvas de depreciación luminosa de las fuentes: los fabricantes y/o comercializadores de fuentes luminosas deben disponer en catálogo o en otro medio de fácil acceso y consulta la información correspondiente a las curvas de depreciación de las fuentes y la norma técnica aplicada para su ensayo.
Para lámparas de sodio de alta presión, los fabricantes y/o comercializadores deben informar la característica de tiempo de encendido por arranque y el rango de voltaje para operación nominal de la lámpara, factores que son determinantes en su vida útil.
- Curva de mortalidad o vida promedio de las fuentes: en este tipo de curva debe determinarse el porcentaje de fuentes que siguen en operación después de un período o número de horas de servicio. En el caso de lámparas de descarga en gas, la vida útil de la lámpara se considera hasta cuando su flujo luminoso llega al 70 % del flujo inicial. El flujo inicial es el flujo medio en la lámpara a las 100 horas de encendida, operando con un balasto de referencia.

¹ C y gamma (γ) son ángulos, en función de los cuales se definen los valores de intensidad luminosa que suministra la luminaria en cualquier punto.

2.9.3.6 Características de reproducción cromática y de temperatura de color

Para la clasificación de las lámparas en función de su Índice de Reproducción Cromática (Ra o CRI) se adoptan la tabla siguiente y adaptadas de la publicación CIE 29.2 de 1986 “Guía de Iluminación interior”.

CUADRO 2.4 ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA

Clase	Índice de reproducción cromática (CRI o Ra) %
1A	> 90
1B	80 – 89
2A	70 -79
2B	60 – 69
3	40 – 69
4	< 20

Fuente: RTE 069, 2013
Elaboración: RTE 069,2013

El Ra/CRI tiene que ver con condiciones psicológicas y estéticas, depende del nivel de iluminación, la presencia o ausencia de luz natural, el clima exterior y de la preferencia personal. Los desarrollos tecnológicos actuales y los estándares en fuentes de iluminación permiten determinar fácilmente las característica de reproducción cromática y temperatura de color (RTE 069, 2013).

CUADRO 2.5 TIPOS DE FUENTES LUMINOSAS EN FUNCIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA DE COLOR E ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA

Índice de reproducción cromática (Ra) (%)	Clase	Cálido (3000K)	Neutro (3000-5000K)	Frío (5000K)	Criterio de aplicación
>=90	1A	Halógenas Fluorescente lineal y compacta Halogenuros metálicos y cerámicos	Fluorescente lineal y compacta Halogenuros metálicos y cerámicos	Fluorescente lineal y compacta	Principalmente en donde la apreciación del color sea un parámetro crítico
80-89	1B	Fluorescente lineal y compacta Halogenuros metálicos y cerámicos Sodio blanco	Fluorescente lineal y compacta Halogenuros metálicos y cerámicos	Fluorescente lineal y compacta	En áreas donde la apreciación correcta del color no es una consideración primaria pero donde es esencial una buena reproducción de colores
70-79	2A	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	En áreas donde la calidad de apreciación correcta del color es de poca importancia
<70	2B, 3 y 4	Mercurio Sodio	Mercurio	-	

Fuente: RTE 069 (2013)

Elaboración: RTE 069 (2013)

En este punto se debe conceptualizar estos dos últimos parámetros a tomar en cuenta, sus definiciones, son como siguen:

- Color y Temperatura de Color

El color es una interpretación subjetiva psicofisiológica del espectro electromagnético visible. El color de luz de una lámpara depende de la dispersión de la luz emitida. Por ejemplo en las lámparas incandescentes esta dispersión resulta por la temperatura del filamento, de ahí el concepto de temperatura de color; para las lámparas de descarga, en cambio, es necesario recurrir a un valor comparativo: la temperatura de color más parecida (Pañi & Lojano, 2011).

Por tanto la temperatura de color se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada (García & Boix, 2010).

CUADRO 2.6 VALORES ESTÁNDAR DE TEMPERATURA DE COLOR

VALORES DE TEMPERATURA DE COLOR		
cielo azul	20000 K	Fría
luz solar directa	5000 K	Fría

CUADRO 2.6 CONTINUACIÓN

cielo nublado	7000 K	Fría
luz de velas	1800 K	Cálida
blanco cálido	3000 K	Cálida
luz del día	6500 K	Cálida
lámparas incandescentes normales	2600 K	Calientes
halógenos metálicos	4000 - 6000 K	Calientes

Fuente: Pañi & Lojano (2011)

Elaboración: Pañi & Lojano (2011)

- Índice de Reproducción Cromática (IRC)

Es una medida de la capacidad que una fuente luminosa tiene para reproducir exactamente los colores de varios objetos en comparación con una fuente de luz natural o ideal. Las luces con un IRC elevado son necesarias en aplicaciones donde son importantes los colores, tales como por ejemplo la fotografía y el cine (García & Boix, 2010).

CUADRO 2.7 VALORES DE TEMPERATURA DE COLOR

TIPO DE LÁMPARA	IRC
Lámpara incandescente	100
Lámpara halógena	100
Lámpara fluorescente	15 - 85
Lámpara de haluro metálico	65 - 93
Lámpara de inducción	79
Sodio alta presión	0 - 70

Fuente: Pañi & Lojano (2011)

Elaboración: El autor

2.9.4 REQUISITOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Adicional a los requerimientos específicos, el alumbrado público debe cumplir los principios generales, estipulados en el punto 6.4 de este documento.

- a) Requerimientos de visibilidad. La iluminación de un sistema de alumbrado público debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales. Para lo cual se debe tener en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de luz sobre el área observada y de acuerdo con el trabajo visual requerido.
- b) Cantidad y calidad de luz. Se ha establecido como el objetivo del alumbrado público, permitir a los usuarios de la calzada y de las aceras, circular sobre ellos en las horas de la noche, de manera segura, cómoda y a velocidades preestablecidas. La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios que circulan a velocidad normal evitar un obstáculo cualquiera. Para este efecto, está establecido que el criterio de seguridad consiste en la visibilidad de un obstáculo fijo o móvil constituido por una superficie de 0,20 m x 0,20 m, con un factor de reflexión de 0,15. Considerando que:
 - La seguridad de un peatón se logra si éste puede distinguir el obstáculo a una distancia de 10 m o más.
 - La seguridad de un automovilista depende esencialmente de su velocidad. A velocidad media de 60 km/h, él debe percibir este obstáculo a una distancia hasta 100 m. Para velocidades superiores esta distancia oscila entre 100 y 200 m.

Cabe acotar que la percepción de seguridad no es igual en carreteras que en vías urbanas, por factores como la presencia de obstáculos fijos y móviles, que varía, por lo que, generalmente, la velocidad de circulación de la primera será mayor que en la segunda.

- c) Confiabilidad de la percepción. Los objetos solo pueden percibirse cuando se tiene un contraste superior al mínimo requerido por el ojo. Este valor depende del ángulo con el que se vea (afecta la cantidad de superficie aparente en la fórmula de luminancia) y de la distribución de la luminancia en el campo visual del observador (fondo para el contraste). Además este valor define el tiempo de adaptación del ojo en dicha situación.
- d) Comodidad visual. El grado de comodidad visual proporcionado por una instalación de este tipo será mejor si el ojo del conductor tiene mejores niveles de adaptación. Ello implica elevar la luminancia promedio sobre la vía, así como controlar la dispersión de valores que componen dicho promedio. Para asegurar el control en la dispersión de los datos se utiliza el concepto de *Uniformidad Longitudinal de Iluminancia (UL)*. Un bajo nivel de uniformidad longitudinal se traducirá en la aparición del efecto cebra sobre la vía (la vía alterna tramos bien iluminados, con otros mal iluminados), causante de la fatiga visual del conductor.
- e) Relación con alrededores (SR). Una de las metas principales en iluminación de vías es crear superficie clara sobre la vía contra la cual pueden verse los objetos. El contraste podría llegar a ser insuficiente para una percepción segura en el tiempo requerido por el conductor, si no se controla la iluminancia promedio de los alrededores. En vías donde los alrededores tienen su propia iluminación, no es necesario considerar el factor SR.
- f) Evaluación económica y financiera. Todos los proyectos de alumbrado público deben hacer una evaluación donde se incluyan los costos de inversión, operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto. Además se deben considerar el costo inicial como los de operación asociados, así como el valor de reposición al final de la vida útil del proyecto. Los costos energéticos son relevantes al definir cargas operativas.
- g) Uso racional y eficiente de la energía. Los sistemas de alumbrado público diseñados deben cumplir simultáneamente con los requisitos fotométricos y

no deben exceder los valores máximos de densidad de potencia eléctrica (DPEA).

- h) Condiciones ambientales de la localidad. El proyecto debe ser adecuado a las condiciones ambientales de la localidad, así como las condiciones particulares del medio, especialmente la presencia de agentes corrosivos, factores ambientales y facilidades de mantenimiento.
- i) Normas de mobiliario urbano. Se debe considerar el estilo arquitectónico predominante del sector. En plazas públicas, fachadas, vías con destinación histórica o turística definidas, es necesario mantener el estilo, el color y la distribución concordantes. Así mismo, es importante el uso típico de la vía, peatonal, ciclo ruta o para vehículos. Para cada caso hay distribuciones y equipos que mejoran el impacto visual de la instalación.

2.9.5 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO

2.9.5.1 Determinación de los parámetros fotométricos

Estos factores son específicos para alumbrado público notados en la Regulación No. 008/11 del CONELEC

- Luminancia promedio de la calzada (Lav)

La luminancia promedio se calcula como el promedio aritmético de las luminancias obtenidas en cada uno de los puntos de cálculo. Este es el valor mínimo que debe ser mantenido a lo largo de la vida de la instalación, y depende de la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades de reflexión de la calzada. Valores superiores si pueden justificarse ECONÓMICAMENTE.

$$L = \frac{I(C, \varphi) \cdot r \cdot \varphi \cdot MF \cdot 10^{-4}}{H^2} \quad (2.8)$$

L = luminancia en un punto [cd/m²]

$I(C, \varphi)$ = intensidad luminosa en la dirección (C, φ) [cd/klm]

r = coeficiente reducido de luminancia para un rayo de luz incidente

φ = flujo luminoso inicial [klm]

MF = es el producto del factor de mantenimiento de la lámpara

H = altura de montaje de la lámpara [m]

Para la luminancia promedio se debe efectuar la media aritmética para todos los puntos evaluados.

Hay que recalcar que dado el nivel de complejidad para el cálculo de la luminancia, hay software especializados para la determinación de valores fotométricos, en general, para el diseño de sistemas de alumbrado público.

- Uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía. Su valor depende de los mismo factores de la luminancia promedio.

- Uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación. El número de punto y la distancia entre ellos deberán ser iguales a los utilizados para el cálculo de la luminancia promedio de la calzada.

La uniformidad longitudinal se calcula como la relación de la más baja a la más alta luminancia en la dirección longitudinal a lo largo de la línea central de cada carril, incluyendo el parterre en el caso de las autopistas. El número de puntos en

la dirección longitudinal (N) y el espaciado entre ellos debe ser el mismo que los utilizados para el cálculo de luminancia promedio.

- Deslumbramiento (TI)

Se cuantifica a través del incremento umbral. El incremento de umbral TI se calcula para el estado inicial de la instalación, mediante la ecuación:

$$TI = \frac{k * E_e}{L_{av}^{0,8} * \alpha^2} [\%] \quad (2.9)$$

TI = deslumbramiento [%]

k^2 = constante que varía con la edad del observador. Para cualquier caso se usará el valor de $k = 650^3$

E_e = iluminancia total inicial producidas por las luminarias, nuevas, sobre un plano normal a la línea de visión y a la altura del ojo del observador.

L_{av} = luminancia inicial promedio

α = ángulo (grados) formado entre la línea de visión y el centro de cada luminaria

- Relación de alrededores (SR)

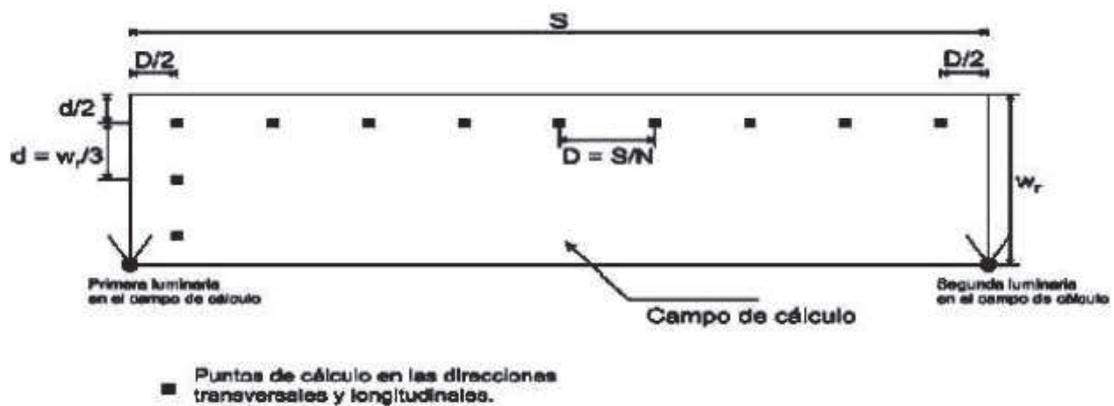
Es la relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor en espacios que no permite) cada una adyacente a los dos bordes de la calzada (fuera de la calzada) para la iluminancia promedio de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles,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

² La fórmula genérica es $k = 641 * \left[1 + \left(\frac{A}{66,4} \right)^4 \right]$ donde A es la edad del observador y se la establece como estándar 23 años.

- Campo de cálculo

El campo de cálculo deberá ser típico del área de la calzada que le interesa al conductor y al peatón; puede incluir las aceras, los carriles de ciclo rutas y las zonas peatonales. Como se muestra en la figura 2.17, el área se limita por los bordes de las calzadas (incluidas ciclo rutas y zonas peatonales, si es aplicable) y por las líneas transversales a través de dos luminarias consecutivas. Este campo de cálculo es aplicable a todos los parámetros luminotécnicos.

FIGURA 2.17 PUNTOS DE CÁLCULO PARA FOTOMETRÍA



Fuente: RTE 069, 2013
Elaboración: RTE 069, 2013

- En la dirección longitudinal, el espaciado en la dirección longitudinal debe determinarse a partir de la ecuación $D = \frac{S}{N}$, donde:

D = espaciado entre puntos en la dirección longitudinal (m)

S = espaciado entre luminarias (m)

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

S \leq 30 m, N = 10

S > 30 m, el entero más pequeño para que se obtenga D \geq 3 m

- En la dirección transversal. El espaciado (d) en la dirección transversal se determina a partir de la ecuación $d = \frac{Wr}{3}$, donde:

d = espaciado entre puntos en la dirección transversal (m)

Wr = ancho de la calzada o del área aplicable (m)

El espaciado de los puntos de los bordes del área aplicable es D/2 en la dirección longitudinal y d/2 en la dirección transversal como se indica en la figura 2.17. Para el diseño se deben considerar las luminarias que estén dentro de un valor igual a cinco veces la altura de montaje desde el punto de cálculo.

- Cálculos en aceras y carriles para ciclo rutas

Los puntos de cálculo se deben espaciar uniformemente en el campo de cálculo, y su número se debe escoger de la siguiente forma:

- En dirección longitudinal. Si las aceras o los carriles de ciclo rutas son de la misma clase de iluminación que la calzada, pueden considerarse conjuntamente con la calzada para determinar el espaciado de los puntos de cálculo en la dirección longitudinal, en caso contrario se aplica nuevo campo de cálculo según la figura 2.17.

- En dirección transversal. Se debe aplicar la siguiente fórmula: $df = \frac{Wf}{n}$,

df = espaciado entre puntos de la dirección transversal (m)

Wf = ancho de la acera o del carril de la ciclo ruta (m)

n = número de puntos en la dirección transversal con los siguientes valores:

Wf \leq 1 m, n = 1,

Wf > 1; n es el número más pequeño para que se obtenga df \geq 1 m.

Los puntos adyacentes al borde de la calzada deben espaciarse desde el borde de la calzada a la mitad de la distancia entre puntos. Para el número de

luminarias incluidas en el cálculo, se aplica el mismo criterio de las calzadas.

- Áreas de forma irregular

Estas pueden incluir zonas residenciales y áreas donde predomina la actividad peatonal. Los puntos de cálculo deben incluir áreas aplicables y estar sobre una malla con un espaciado entre puntos no mayor de 5 m. Para áreas de un interés o una importancia particular se debe considerar un espaciado de alrededor de 1 m. El número de luminarias incluidas en el cálculo debe ser el mismo número utilizado para los cálculos de la calzada.

2.9.5.2 Iluminación según el tipo de vía

a) Vías de tránsito vehicular

Cada tipo de vía tiene sus características propias y para la iluminación no es la excepción. Esta se debe instalar de acuerdo a dos criterios puntuales: número de automóviles y velocidad de circulación.

Pero debido a que la complejidad de la vía se deben considerar más factores como la infraestructura, movimiento de tráfico y alrededores visuales. Por este motivo la Regulación 008/11 del CONELEC utiliza un método cuantitativo para determinar el tipo de vía.

Existen 6 clases de vías y se notan desde M1 hasta M6. En principio, todas las vías que respondan de similar manera a los criterios definidos anteriormente, pueden ser iluminadas de manera idéntica. En consecuencia, las vías se pueden agrupar en varios conjuntos que respondan a un mismo tipo de iluminación en función de los fines perseguidos, diferentes para cada uno de ellos, pero bien caracterizados para un mismo conjunto.

CUADRO 2.8 PONDERACIÓN PARA VÍAS CON TRÁFICO MOTORIZADO

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación
Velocidad	Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
Volumen del tráfico	Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Bajo	-0,5
	Muy bajo	-1
Composición del tráfico	Mezcla: alto porcentaje de tráfico no motorizado	2
	Mezcla	1
	Solamente motorizado	0
Separación de vías	No	1
	Sí	0
Densidad de la intersección	Alta	1
	Moderada	0
Vehículos parqueados	Se permite	0,5
	No se permite	0
Iluminación ambiental	Alta	1
	Moderada	0
	Baja	-1
Guías visuales	Pobre	0,5
	Moderado o bueno	0

Fuente: Regulación 008/11 CONELEC, 2011
 Elaboración: Regulación 008/11 CONELEC, 2011

$$M = (6 \square \square Vps) \quad (2.10)$$

M = tipo de iluminación (M1 – M6)

Vp = factores de ponderación

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

a.1) Niveles de iluminación según tipo de vía con tráfico motorizado

CUADRO 2.9 CLASE DE ILUMINACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VÍA (TRÁFICO MOTORIZADO)

Clase de iluminación	Tipo de superficie			Incremento de Umbral	Relación de alrededor	
	Seco		Mojado			
	Lav	Uo	Ui	Uo	T	SR
M1	2	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,5
M6	0,3	0,35	0,4	0,15	20	0,5

Fuente: Regulación 008/11 CONELEC, 2011

Elaboración: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

En donde la clase de iluminación se varíe de acuerdo con los cambios en la densidad de tráfico durante las horas de menor tráfico, para propender por el ahorro de energía, los cambios en los requisitos de iluminación deben ser apropiados para la clase de densidad a la cual se cambie, y se debe cumplir en su totalidad con todos los requisitos de uniformidades y el criterio de deslumbramiento.

b) Vías peatonales

Para este tipo de vías se utilizan valores de iluminancia horizontal, al nivel del piso. A continuación la tabla para la determinación de la clase de vía (P1 a P6)

CUADRO 2.10 PONDERACIÓN PARA VÍAS PEATONALES

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación
Velocidad	Bajo	1
	Muy bajo	0
Volumen del tráfico	Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Bajo	-0,5
	Muy bajo	-1
Composición del tráfico	Peatones, ciclistas y tráfico motorizado	2
	Peatones y tráfico motorizado	1
	Peatones y clicistas solamente	1
	Peatones solamente	0
	Ciclistas solamente	0
Vehículos parqueados	Se permite	0,5
	No se permite	0
Iluminación ambiental	Alta	1
	Moderada	0
	Baja	-1

Fuente: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

Elaboración: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

$$P = (6 \square \square Vps) \quad (2.11)$$

Si el resultado no es un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio de los parámetros.

b.1) Niveles de iluminación según tipo de vía peatonal

CUADRO 2.11 CLASE DE ILUMINACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VÍA (PEATONAL)

Clases de Iluminación	TIPO DE APLICACIÓN	
	Iluminancia Horizontal (lx) Referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P1	15	3
P2	10	2
P3	7,5	1,5
P4	5	1
P5	3	0,6
P6	2	0,4

Fuente: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

Elaboración: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

c) Zonas de conflicto

Se producen cuando el flujo de vehículos se cruza entre sí o se dirige hacia lugares frecuentados por peatones, ciclistas o usuarios de otros caminos; o cuando hay un cambio en la geometría de la vía, tales como una reducción del número de carriles o la reducción del ancho de un carril o una calzada.

CUADRO 2.12 PONDERACIÓN PARA ZONAS DE CONFLICTO

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación
Velocidad	Elevado	3
	Alto	2
	Moderado	1
	Bajo	0
Volumen del tráfico	Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Bajo	-0,5
	Muy bajo	-1
Composición del tráfico	Mezcla: con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2
	Mezcla	1
	Solamente motorizado	0
Separación de vías	No	1
	Sí	0
Iluminación ambiental	Alta	1
	Moderada	0
	Baja	-1
Guías visuales	Pobre	0,5
	Moderado o bueno	0

Fuente: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

Elaboración: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

$$C = (6 \square \square Vps) \quad (2.12)$$

La clase de iluminación va de C0 a C5. Si el resultado no es un número entero, se aproxima al menor valor del sumatorio.

c.1) Niveles de iluminación para zonas de conflicto

CUADRO 2.13 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA ZONAS EN CONFLICTO

Clases de Iluminación	Iluminancia promedio E (lux) ⁴	Uniformidad de la Iluminancia U _o	Incremento de Umbral (%) ⁵	
			Moderada y Alta Velocidad	Baja y muy baja velocidad
C0	50	0,4	10	15
C1	30		10	15
C2	20		10	15
C3	15		15	20
C4	10		15	20
C5	7,5		15	25

Fuente: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

Elaboración: Regulación 008/11 CONELEC, 2013

2.9.6 CONTINUIDAD DE SERVICIO

El alumbrado público general deberá estar encendido durante la noche y durante las horas del día en las cuales las condiciones climáticas o de seguridad determinen que sea necesario la iluminación artificial.

El tiempo medio de encendido del alumbrado público general será de 12 horas (18h00 a 06h00). Dependiendo del tipo de alumbrado y si está ubicado en zonas en las que sea posible su apagado, sin molestar la circulación normal de personas

(ciclovías, paseos de parques entre otros), se deberán ubicar dispositivos temporizadores para el control de su operación en horarios especiales.

Las distribuidoras en forma mensual y para cada uno de los diferentes tipos de luminarias, deberán llevar, utilizando como sustento el reporte de operación y reclamos, un control de las lámparas en cuanto a su funcionamiento. Sobre la base de registro se determinará la tasa de falla, por primario, que se lo calculará de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de falla} = Tf = \frac{\# \text{luminarias.falla}}{\# \text{luminarias.totales}} \quad (2.13)$$

Para el cálculo, el número total de luminarias se considerará las registradas al inicio del mes por la empresa. Para fines de calidad, la tasa de falla del sistema no podrá ser superior a 0,02.

Una luminaria se considera en falla si es reportada como apagada –durante el tiempo en que está programada para funcionar- sin importar el tiempo que haya permanecido en ese estado; o si presenta un comportamiento de encendido apagado durante todo el día.

Sobre la base de la información de la distribuidora se determinará la tasa de falla del sistema, como el promedio ponderado de la tasa de falla de los primarios, siendo el ponderador el número de luminarias por primario; en caso no disponga de esa información la Tasa de Falla será de 0,04.

Cuando se identifique que una luminaria o un grupo de luminaria este(n) apagada(s), los tiempos máximos de reparación, tomando en consideración la hora del reclamo, serán los siguientes:

- Área urbana: 1 día
- Área rural: 2 días

2.9.7 SISTEMA DE ZONIFICACIÓN

Las supuestas contradicciones entre las exigencias fotométricas relativas a la actividad humana nocturna, seguridad en la circulación de vehículos y peatones, calidad de vida, integridad del entorno, propiedades, etc. Y el resplandor luminoso nocturno en el cielo, que dificulta las observaciones astronómicas de los objetos celestes, deben abordarse para adoptar soluciones adecuadas. En materia de medio ambiente, cuando una actividad potencialmente contaminante no puede ser totalmente controlada, la idea básica que se utiliza consiste en evitar las consecuencias ambientales, debidas a esta presunta contaminación que perjudiquen igualmente en todas las localizaciones o situaciones. Por tanto, el sistema de zonificación debe servir de referencia para regular y resolver los posibles conflictos, que pudieran derivarse de la hipotética dicotomía: iluminación – observación astronómica (CEI, 2001).

CUADRO 2.14 SISTEMA DE ZONIFICACIÓN

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E1	ÁREA CON ENTORNOS OSCUROS: Observatorios astronómicos de categoría internacional
E2	ÁREAS DE BAJO BRILLO: Áreas rurales
E3	ÁREAS DE BRILLO MEDIO: Áreas urbanas residenciales
E4	ÁREAS DE BRILLO ALTO: Centros urbanos con elevada actividad nocturna

Fuente: CEI, 2001
Elaboración: El autor

Los parques nacionales y áreas de especial belleza natural tendrán el mismo tratamiento que la zona E1.

2.9.7.1 Limitaciones del flujo hemisférico superior

Se define el flujo hemisférico superior instalado (FHS) emitido por una luminaria como el dirigido por encima del plano horizontal. Dicho plano corresponde al ángulo $\varphi = 90^\circ$ en el sistema de representación (C, φ). El flujo hemisférico se expresa en porcentaje emitido por la luminaria.

CUADRO 2.15 VALORES LÍMITE DEL FHS INSTALADO

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FHS (%)
E1	0
E2	0 - 5
E3	0 - 15
E4	0 - 25

Fuente: CEI, 2001

Elaboración: El autor

No obstante, en el caso de iluminación de autopistas y autovías, vías urbanas importantes, redondeles, etc, se recomienda instalar luminarias con un FHS instalado $\leq 3\%$. En el resto de vías de tráfico rodado se aconseja $\leq 5\%$. En el caso de alumbrado peatonales, así como artísticos con faroles se sugiere un FHS instalado $\leq 25\%$.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN DE PROYECTO

3.1 DEMOGRAFÍA Y UTILIZACIÓN DE LA VÍA

3.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Si en algo concuerdan todos los moradores de “La Mariscal”, es que éste era un barrio tranquilo, en donde la vida transcurría sin mayores preocupaciones y se encontraba gente de todos lados, especialmente europeos. Esta percepción de los habitantes de la zona tiene total fundamento porque durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) y en los años posteriores, llegó a Ecuador una nutrida colonia de extranjeros. Entre ellos estuvieron numerosos judíos, que se asentaron en el naciente barrio. Su elección tuvo que ver con las facilidades de estar fuera del centro histórico donde se concentraba la población quiteña, el contacto con otras familias inmigrantes, la posibilidad de contar con espacios todavía abiertos y, ante todo, mantener, sin contratiempos ni molestias extrañas, sus propias costumbres y prácticas religiosas, muy distintas a la de la aún conservadora sociedad quiteña. “La Mariscal”, al ser un barrio moderno en formación disponía de mayor espacio para construir, comprar o alquilar viviendas nuevas que ofrecían mayor confort y privacidad. Se asentaron específicamente en los alrededores de la Colón y la Amazonas hasta la Jorge Washington.³

Pero no siempre fue un centro productivo o residencial como tal, de hecho históricamente pasó de ser una tierra rural, a ser un barrio exclusivo. Hasta mediados del siglo XIX el sector se encontraba fuera del límite urbano de Quito, siendo nada más un conjunto de tierras dedicadas a la agricultura y pastoreo sin relevancia aparente para urbanizarlas. A finales del siglo XIX la familia Jijón,

³ Cita textual del libro “La Mariscal, Historia de un barrio moderno en Quito en el siglo XX” de Amparo Ponce (2012)

Condes de Casa Jijón, construyen la primera villa en las tierras que habían adquirido a la comunidad indígena de Santa Clara de San Millán.

Hasta la década de 1940 La Mariscal se destacaba por su combinación de roles urbanos: tanto residencial como comercial; aunque este último con un carácter mucho menos activo que aquel dado en el Centro Histórico. En 1957 se inaugura en la avenida Amazonas el primer supermercado de autoservicios del país llamado La Favorita, y con éste, se abre una nueva etapa comercial más amplia para el sector de La Mariscal. Este período fue el más importante del siglo XX para la parroquia, desde los años 40 hasta los 70, el sector florecería. A principios de la década de los 70, los residentes irían abandonando poco a poco sus casas para ocupar nuevas urbanizaciones y sectores ubicados más hacia el norte de la ciudad.

FIGURA 3.1 MAPA DE CALLES DEL BARRIO LA MARISCAL



Fuente: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda - DMQ(2010)
Elaboración: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda - DMQ(2010)

3.1.2 REALIDAD ACTUAL

Pero ¿por qué hablar de los antecedentes de “La Mariscal”, si la zona de estudio está en el otro extremo, en la avenida 12 de Octubre. Pues la razón es sencilla, el sector de La Mariscal creció durante la segunda mitad del siglo XX y “absorbió” de cierta forma a las calles aledañas a los barrios tradicionales de La Vicentina y La Floresta, sirviendo ahora de límites físicos con éstos. La 12 de Octubre y Patria (generada a través de la Queseras del Medio) son los ejemplos, ahora ejes viales principales de la ciudad, los cuales se han adaptado a los cambios en el ritmo de crecimiento de la misma, así como también de han entendido su nueva función de asentamientos urbanos, pasando de residencial y comercial a baja escala, a comercial y de servicios, incluyendo entidades estatales, siendo estas preponderantes sobre la residencial.

La construcción del estadio olímpico Atahualpa en 1951, el advenimiento de centros comerciales pioneros como el Centro Comercial Ñaquito y El Bosque a mediados de los años 70 y 80 respectivamente, dieron lugar a que el norte de la ciudad tenga mayor apego por los negocios y el intercambio de bienes y servicios que afectaron a una elevada cantidad de personas, convirtiéndolo en un polo de atracción respecto a todos los habitantes de la ciudad. Es así como, el sector de análisis del presente estudio, El Girón (como parte del barrio La Mariscal), en la década del 90 va “desplazando” habitantes de la función residencial, quedándose en esta mayormente para funciones de comercio de uso frecuente o diario, cierto tipo de actividades de esparcimiento, así como también de índole educativo por la presencia de 3 universidades localizadas en dicho sector.

CUADRO 3.1 PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA PARROQUIA MARISCAL SUCRE

PARROQUIA	POBLACIÓN CENSO		Tasa de crecimiento demográfico	Incremento [%]	Proyección año y Tasa de Crecimiento (tc)									
	1990	2001	tc[%]		2005	tc	2010	tc	2015	tc	2020	tc	2025	tc
MARISCAL SUCRE	18801	15841	-1,5	-16	14569	-2,1	12843	-2,5	10999	-3,1	9094	-3,7	7210	-4,5

Fuente: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda - DMQ(2010)

Elaboración: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda - DMQ(2010)

Esta tabla muestra una aproximación del crecimiento poblacional de la parroquia Mariscal Sucre, la cual está conformada por 3 barrios: La Colón, La Floresta y el homónimo de la parroquia, conocido coloquialmente como La Mariscal. Se aprecia claramente que la tendencia desde 1990 es decrecer, lo que confirma la hipótesis antes expuesta que la función de vivienda está siendo disminuida con el paso del tiempo, puesto que este sector está siendo preponderante las actividades administrativas, turismo, alimentación y comercios.

CUADRO 3.2 POBLACIÓN Y VIVIENDAS DE LA PARROQUIA LA MARISCAL (2010)

MARISCAL SUCRE	SUPERFICIE [Ha]	POBLACIÓN			HOGARES	VIVIENDAS	DENSIDAD POBLACIONAL [Hab/Ha]
		TOTAL	Hombre	Mujer			
La Colón	42,39	1459	666	793	609	817	34,4
La Floresta	110,59	5758	2716	3042	2106	2776	52,1
Mariscal Sucre	125,93	5759	2674	3085	2337	3450	45,7
TOTAL	278,91	12976	6056	6920	5722	4319,1	46,5

Fuente: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda - DMQ(2010)

Elaboración: Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda - DMQ(2010)

El cuadro 3.2 cuenta con los valores del último censo de población y vivienda efectuado en 2010, y los cuales indican que la aproximación hecha por la Secretaría de Hábitat y Vivienda del Municipio de Quito son valederas, ya que los valores son similares; el teórico fue de 12843 y el real de 12976 para el año 2010. Para el 2015, año que se avecina, decaerá aún más la población, y si notamos el número de hogares (considerados como familias consolidadas) disminuirá también, lo que indica que la aglomeración de gente es flotante, por las nuevas funciones que este sitio ha adquirido.

Según un artículo del Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, datado de 1984, el cual habla sobre los aspectos geográficos del dinamismo de Quito, La Mariscal ha llegado a ser un barrio comercial y de negocios que, según parece, ha sucedido al barrio Alameda-El Ejido ya demasiado estrecho, reforzando las tendencias al gigantismo. Sin embargo, aparece como un barrio separado, prohibido o autorizado según la capacidad adquisitiva de los ciudadanos de Quito,

como permite presumir el análisis sucinto del funcionamiento de la red de circulación general y de la composición de su espacio urbano. Esto es la prueba que desde mediados de los años 80 ya se hablaba de la consolidación de La Mariscal como un nuevo “macrocentro” multifuncional que reúne pluralidad de actividades de diversa índole.

En efecto, a medida que la ciudad se moderniza y crece, los centros van expulsando población residencial y con la expansión de límites incorpora en una “zona de transición” (Park, 1974), antiguamente residenciales ocupadas por estratos sociales más pudientes, que preferían radicarse allí por la cercanía a los antiguos centros. Desde el punto de vista de la estructura física se observa asimismo un deterioro que afecta sus condiciones de habitabilidad: las aceras y calzadas (sometidas a tráfico intenso) tienden a quedar en mal estado rápidamente (Matas, 2000). Además las vías, responden asincrónicamente a las demandas de los flujos, de forma que desplazarse en su interior resulta difícil y peligroso, si las condiciones no son las adecuadas.

Es así como la iluminación dotada por el alumbrado público del sector en cuestión, es un factor primordial, pero poco reconocido, a la hora de establecer planes urbanísticos de la ciudad, como es evidente un lugar tiene sus necesidades propias, de acuerdo a las actividades que realiza. La necesidad de introducir la variable ambiental en los programas de desarrollo se ha visto obligada a realizar evaluaciones de impacto ambiental, para verificar la incidencia de dichos proyectos sobre el medio en el cual se aplican.

Entonces, es como desde los alcances de este proyecto de titulación, se promueve que la evaluación del recurso energético provisto por la iluminación pública, es imperioso, ya que atañe a toda la población como usuarios y como se explicó en el capítulo II del presente documento, la contaminación lumínica ligada al desperdicio de energía puede ocasionar diversos problemas, sociales, ambientales, etc.

Si bien es cierto, la mayoría de evaluaciones de impacto se realizan para niveles

de aplicación rurales, por lo que la problemática urbana queda relegada, en cuanto a los efectos que pueda tener en el equilibrio ecológico. Por ello que a estas alturas parece oportuno plantear un tema poco abordado que inmiscuye la utilización (o mala según el caso) de recursos, los cuales repercuten en nuestro ecosistema urbano en el cual nos desenvolvemos, entendido éste como una adaptación del medio natural que ha sido dado a los ancestros que habitaron estas tierras, y el medio social, cuya interacción entre sus actores a lo largo de la historia han provocado las transformaciones del primero en mención.

3.1.3 FORMAS DE UTILIZACIÓN DE LA VÍA

El área de estudio, es el tramo de calle delimitada por la esquina de la Avenida 12 de octubre e Ignacio de Veintimilla, y la intersección de la misma avenida con la calle Madrid.

Este sector está caracterizado por ser una zona que asienta diversos giros de negocio y actividades administrativas, tales como:

- Alimentación: restaurantes (inclusive alternativas vegetarianas), cafeterías y panaderías.
- Entretenimiento: sala de billar con expendio de cerveza.
- Educación: Ala Oeste de la Universidad Politécnica Salesiana, Librería ABYA-YALA.
- Religioso: Iglesia El Girón, Sala de velaciones.
- Estatales: Ministerio de Justicia, Derechos Humanos y Cultos.
- Servicios varios: electrónicos y telecomunicaciones, lavanderías.

Es claro que la calle de estudio no tiene ningún fin residencial, quizás una casa o departamento, sean casos aislados. Por tal motivo el diseño de la red se debió hacer para zonas de actividades laborales, en lugar de zonas residenciales, como presumiblemente sucedió. A pesar que la historia expuesta, indica que así debió ser, el último cambio de luminarias fue en 2007, conforme información de la Empresa Eléctrica Quito, se debió haber hecho una reingeniería de ésta.

FIGURA 3.2 TRAMO DE ESTUDIO



Fuente: Google Earth

Para los fines de este proyecto se caracteriza la vía de estudio, por la cual transitan automóviles y peatones, con el motivo de establecer formas de ocupación que puedan estar ligadas a la utilización de alumbrado público según la actividades y funciones permisibles para este sector. Según la Ordenanza Municipal No. 0031 Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS), la cual tiene como objetivo procurar el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del DMQ, ordenando la estructura territorial, en función de las actividades desempeñadas y la imagen urbana.

Conforme esta última ordenanza esta zona debe ser catalogada como zona de Uso Múltiple (ver artículo 13 de la norma en cuestión), el cual dicta que “corresponde al uso asignado a predios con frente a ejes o ubicados en áreas de centralidad en la que pueda coexistir residencia, comercio, industrias de bajo y

mediano impacto, servicios y equipamientos compatibles de acuerdo a las disposiciones del PUOS”.

Cabe acotar incluso lo que reza el artículo 14 del mismo PUOS: “Las edificaciones en áreas de uso múltiple respetarán las regulaciones y condiciones correspondientes al uso o usos que se implanten. El uso residencial en áreas de uso múltiple no tiene restricciones de proporcionalidad con respecto a otros usos”.

Esto se suma a los usos de suelo y sus relaciones de compatibilidad, registrados en el Cuadro N° 9 del PUOS, donde se plantean las 3 categorías de utilización del suelo: principal (predominante), permitidos (compatibles) y prohibidos (no permisibles). Para el caso Múltiple, es el siguiente:

CUADRO 3.3 USO DE SUELO Y COMPATIBILIDAD DE CATEGORÍA MÚLTIPLE (M)

PRINCIPAL	PERMITIDOS	PROHIBIDOS
Múltiple (M)	<ul style="list-style-type: none"> - Residencial: R - Industrial: II1 - Equipamiento: EEB, EES, EEZ, EEM EC, ES, EBB, EBS, EBZ, EDB, EDS, EDZ, EDM, ERB, ERS, ERM, EGB, EGS, EGZ, EAS, EAZ, EAM, EFS, ETB, ETS, ETZ1, ETZ2, EIB, EIS. - Protección ecológica: PE - Patrimonio cultural: H - Comercial y de servicios: CB, CS, CZ1A, CZ1B, CZ2, CZ3, CZ4, CZ5, CZ6, CM2, CM3, CM4 	<ul style="list-style-type: none"> - Industrial: II2A, II2B, II3, II4, II5 - Equipamiento: EBM, EGM, EFZ, ETM, EIZ, EIM, EPZ, EPM - Recursos Naturales Renovables: RNR - Recursos Naturales NO Renovables: RNNR - Comercial y de servicios: CM1 - Agrícola Residencial: AR

Fuente: Ordenanza Municipal N°. 0031 (2008)

Elaboración: Ordenanza Municipal N°. 0031 (2008)

*Cada una de las siglas expuestas en el cuadro 3.3 son tomadas de la

codificación CIU para actividades industriales y comerciales.

Es por ello que para el diseño de los sistemas de alumbrado (y cualquier planificación en general) se requiere la caracterización de las vías, así como de los fines para los cuales se los requiera. Aunque parezca engorroso e inoperante hacer este análisis, es la normativa y hay que cumplirla, además con ello se tiene una ciudad ordenada, y así mismo todos los sistemas de servicios básicos deben estar en función de las actividades que los sectores desempeñen.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

Para los fines pertinentes es necesario hacer el conteo de automotores, así como de peatones que circulan diariamente por el tramo de calle en cuestión, para definir flujos de ocupación de la misma. Se tomaron 5 días hábiles consecutivos de lunes a viernes de una semana al azar para hacer la contabilización. Cada uno de los muestreos fue hecho por separado en semanas distintas. La hora de análisis fue de 18h30 a 20h30 para cada caso, dado que es la hora de mayor influencia peatonal, así como vehicular, considerando horarios de clases, trabajo y de negocios aledaños que laboran a dichas horas, además siendo un lugar de mucha confluencia la parada del corredor Sur-Oriental (Avenida 12 de Octubre y Veintimilla) que transporta miles de personas al día, tomando en cuenta la influencia de las salidas de las 3 universidades que confluyen allí: Universidad Politécnica Salesiana, Universidad Católica y Escuela Politécnica Nacional.

3.2.1 CONTEO DE USUARIOS (PEATONES Y AUTOMOTORES) QUE CIRCULAN POR LA VÍA

Para la contabilización se consideraron 3 tipos de automotores: Autos livianos, Pesados (considerados aquellos de más de 2 ejes) y Buses. No se tomaron en cuenta motocicletas.

3.2.1.1 Automotores sentido Norte - Sur

CUADRO 3.4 AUTOMOTORES SENTIDO NORTE – SUR (18:30 - 19:30)

SENTIDO NORTE - SUR (18:30-19:30)			
	AUTOMÓVILES	PESADOS	BUSES
LUNES	814	4	70
MARTES	902	9	53
MIÉRCOLES	929	4	60
JUEVES	858	6	62
VIERNES	787	8	56
TOTAL	4290	31	301
PROMEDIO	858	6,2	60,2
MÁXIMO	929	9	70
MÍNIMO	787	4	53

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.5 AUTOMOTORES SENTIDO NORTE – SUR (19:30 – 20:30)

SENTIDO NORTE - SUR (19:30-20:30)			
	AUTOMÓVILES	PESADOS	BUSES
LUNES	856	3	54
MARTES	1093	7	60
MIÉRCOLES	938	5	50
JUEVES	957	4	53
VIERNES	894	9	57
TOTAL	4738	28	274
PROMEDIO	947,6	5,6	54,8
MÁXIMO	1093	9	60
MÍNIMO	856	3	50

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.6 TOTAL AUTOMOTORES SENTIDO NORTE - SUR

SENTIDO NORTE - SUR (18:30-20:30)			
	AUTOMÓVILES	PESADOS	BUSES
TOTAL	9028	59	575

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.2.1.2 Automotores sentido Sur - Norte**CUADRO 3.7 AUTOMOTORES SENTIDO SUR – NORTE (18:30 – 19:30)**

SENTIDO SUR - NORTE (18:30-19:30)			
	AUTOMÓVILES	PESADOS	BUSES
LUNES	441	4	68
MARTES	461	2	68
MIÉRCOLES	428	2	70
JUEVES	450	3	62
VIERNES	343	4	40
TOTAL	2123	15	308
PROMEDIO	424,6	3	61,6
MÁXIMO	461	4	70
MÍNIMO	343	2	40

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3. 8 AUTOMOTORES SENTIDO SUR – NORTE (19:30 – 20:30)

SENTIDO SUR - NORTE (19:30-20:30)			
	AUTOMÓVILES	PESADOS	BUSES
LUNES	445	1	50
MARTES	463	2	51
MIÉRCOLES	435	2	49
JUEVES	443	2	47
VIERNES	366	1	37
TOTAL	2152	8	234

CUADRO 3.8 CONTINUACIÓN

PROMEDIO	430,4	1,6	46,8
MÁXIMO	463	2	51
MÍNIMO	366	1	37

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.9 TOTAL AUTOMOTORES SENTIDO SUR – NORTE

SENTIDO SUR - NORTE (18:30-20:30)			
	AUTOMÓVILES	PESADOS	BUSES
TOTAL	4275	23	542

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Como es evidente, el análisis sugiere que el tránsito vehicular en sentido Norte – Sur es un poco más del doble que en sentido opuesto, en la categoría de automóviles, en tanto que pesados casi lo triplica; en tanto que en buses es ligeramente mayor, no hay mucha diferencia. El flujo en general indica mayor ocupación del lado occidental de la calzada, por ello la mayor incidencia luminosa vehicular debería ser de ese lado.

3.2.1.3 Ocupación peatonal en la vereda occidental

Para este estudio observacional, se tomó en cuenta la ocupación de los peatones que circulan por las veredas, tanto occidental (lado recostado hacia la Veintimilla), cuanto la Oriental (lado de la Universidad Politécnica Salesiana). El control de conteo se realizó cada 10 minutos.

CUADRO 3.10 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA OCCIDENTAL (18:30 - 19:30)

VEREDA OCCIDENTAL (18:30 - 19:30)						
DÍA / HORA	18:30 - 18:40	18:40 - 18:50	18:50 - 19:00	19:00 - 19:10	19:10 - 19:20	19:20 - 19:30
LUNES	105	115	97	108	95	81
MARTES	118	120	110	101	89	55

CUADRO 3.10 CONTINUACIÓN

MIÉRCOLES	87	127	108	93	97	44
JUEVES	77	68	72	60	71	55
VIERNES	98	112	103	90	85	76
TOTAL	485	542	490	452	437	311
PROMEDIO	97	108,4	98	90,4	87,4	62,2
MÁXIMO	118	127	110	108	97	81
MÍNIMO	77	68	72	60	71	44

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.11 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA OCCIDENTAL (19:30 – 20:30)

VEREDA OCCIDENTAL (19:30 - 20:30)						
DÍA / HORA	19:30 - 19:40	19:40 - 19:50	19:50 - 20:00	20:00 - 20:10	20:10 - 20:20	20:20 - 20:30
LUNES	72	56	63	55	50	44
MARTES	72	57	61	53	41	42
MIÉRCOLES	78	60	54	41	31	35
JUEVES	56	40	43	45	30	39
VIERNES	75	61	56	40	49	33
TOTAL	353	274	277	234	201	193
PROMEDIO	70,6	54,8	55,4	46,8	40,2	38,6
MÁXIMO	78	61	63	55	50	44
MÍNIMO	56	40	43	40	30	33

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.12 CANTIDAD TOTAL DE PEATONES VEREDA OCCIDENTAL (18:30 – 20:30)

VEREDA OCCIDENTAL (18:30 - 20:30)						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL
TOTAL	941	919	855	656	878	4249

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Hay que recalcar el hecho que esta vereda no cuenta con luminarias hacia ésta, sino solo aquellas que alumbran a la calzada. Los peatones reciben su

iluminación indirectamente de estas últimas, además de la obtenida por reflejo de los automotores que circulan por la vía.

3.2.1.4 Ocupación peatonal en la vereda oriental

CUADRO 3.13 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA ORIENTAL (18:30 - 19:30)

VEREDA ORIENTAL (18:30 - 19:30)						
DÍA / HORA	18:30 - 18:40	18:40 - 18:50	18:50 - 19:00	19:00 - 19:10	19:10 - 19:20	19:20 - 19:30
LUNES	85	108	92	84	87	79
MARTES	89	100	75	78	77	95
MIÉRCOLES	84	93	65	68	75	54
JUEVES	65	63	78	52	50	39
VIERNES	80	97	105	82	76	45
TOTAL	403	461	415	364	365	312
PROMEDIO	80,6	92,2	83	72,8	73	62,4
MÁXIMO	89	108	105	84	87	95
MÍNIMO	65	63	65	52	50	39

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.14 CANTIDAD DE PEATONES EN VEREDA ORIENTAL (19:30 - 20:30)

VEREDA ORIENTAL (19:30 - 20:30)						
DÍA / HORA	19:30 - 19:40	19:40 - 19:50	19:50 - 20:00	20:00 - 20:10	20:10 - 20:20	20:20 - 20:30
LUNES	66	67	54	49	40	37
MARTES	83	51	45	53	40	38
MIÉRCOLES	59	37	44	30	28	21
JUEVES	42	35	32	33	25	30
VIERNES	49	46	37	39	31	29
TOTAL	299	236	212	204	164	155
PROMEDIO	59,8	47,2	42,4	40,8	32,8	31
MÁXIMO	83	67	54	53	40	38
MÍNIMO	42	35	32	30	25	21

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.15 CANTIDAD TOTAL DE PEATONES VEREDA ORIENTAL (18:30 – 20:30)

VEREDA ORIENTAL (18:30 - 20:30)						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL
TOTAL	848	824	658	544	716	3590

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

3.2.2 DETERMINACIÓN DE TIPO DE VÍA (CALZADA)

3.2.2.1 Vía sentido Norte – Sur (vereda Occidental)

CUADRO 3.16 CLASE DE VÍA PARA EL SENTIDO NORTE - SUR

SENTIDO NORTE – SUR			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación	Vp
Velocidad	Elevado	1	0,5
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	0,5
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	
Composición del tráfico	Mezcla: alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	2
	Mezcla	1	
	Solamente motorizado	0	

CUADRO 3.16 CONTINUACIÓN

Separación de vías	No	1	0
	Sí	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	0
	Moderada	0	
Vehículos parqueados	Se permite	0,5	0
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	1
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías visuales	Pobre	0,5	0,5
	Moderado o bueno	0	
TOTAL			4,5

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Al no ser un número entero (el sumatorio), se debe aproximar al menor valor, por ende se toma como resultado 4.

$$M = \left(6 \square \square V_p \right) = 6 \square 4 \square M = 2 \quad (3.1)$$

3.2.2.2 Vía sentido Sur – Norte (vereda Oriental)

CUADRO 3.17 CLASE DE VÍA PARA EL SENTIDO SUR - NORTE

SENTIDO SUR - NORTE			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación	Vp
Velocidad	Elevado	1	0,5
	Alto	0,5	
	Moderado	0	

CUADRO 3.17 CONTINUACIÓN

Volumen del tráfico(3)	Elevado	1	0
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	
Composición del tráfico	Mezcla: alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	2
	Mezcla	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	0
	Sí	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	1
	Moderada	0	
Vehículos parqueados	Se permite	0,5	0
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	1
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías visuales	Pobre	0,5	0,5
	Moderado o bueno	0	
TOTAL			5

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

El resultado del sumatorio es entero, por tanto se aplica directamente la fórmula

$$M = (6 \square \square Vp) = 6 \square 5 \square M = 1 \quad (3.2)$$

3.2.3 DETERMINACIÓN DE TIPO DE ACERA (PEATONAL)

3.2.3.1 Vereda Oriental

CUADRO 3.18 CLASE PEATONAL VEREDA ORIENTAL

VEREDA ORIENTAL			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación	Vp
Velocidad	Bajo	1	1
	Muy bajo	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	-0,5
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	
Composición del tráfico	Peatones, ciclistas y tráfico motorizado	2	1
	Peatones y tráfico motorizado	1	
	Peatones y ciclistas solamente	1	
	Peatones solamente	0	
	Ciclistas solamente	0	

CUADRO 3.18 CONTINUACIÓN

Vehículos parqueados	Se permite	0,5	0
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baja	-1	
TOTAL			1,5

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Al no ser un número entero (el sumatorio), se debe aproximar al menor valor, por ende se toma como resultado 4.

$$P = (6 \square \square V_p) = 6 \square 1 \square P = 5 \quad (3.3)$$

3.2.3.2 Vereda Occidental**CUADRO 3.19 CLASE PEATONAL VEREDA OCCIDENTAL**

VEREDA OCCIDENTAL			
Parámetro	Opciones	Valor de ponderación	Vp
Velocidad	Bajo	1	1
	Muy bajo	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	0
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	

CUADRO 3.19 CONTINUACIÓN

Composición del tráfico	Peatones, ciclistas y tráfico motorizado	2	1
	Peatones y tráfico motorizado	1	
	Peatones y ciclistas solamente	1	
	Peatones solamente	0	
	Ciclistas solamente	0	
Vehículos parqueados	Se permite	0,5	0,5
	No se permite	0	
Iluminación ambiental	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baja	-1	
TOTAL			2,5

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Al no ser un número entero (el sumatorio), se debe aproximar al menor valor, por ende se toma como resultado 4.

$$P = \left(6 \square \square Vp \right) = 6 \square 2 \square P = 4 \quad (3.4)$$

3.2.4 DETERMINACIÓN DE NIVELES DE ILUMINACIÓN

Conforme la Resolución 008/11 del CONELEC (2011) cada tipo de vía

corresponde un nivel adecuado de iluminación.

CUADRO 3.20 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA M2 (VEREDA OCCIDENTAL)

Clase de iluminación	Tipo de superficie				Incremento de Umbral	Relación de alrededor
	Seco			Mojado		
	Lav	Uo	Ui	Uo	T	SR
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,5

Fuente: CONELEC, 2011

Elaboración: El autor

CUADRO 3.21 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA M1 (VEREDA ORIENTAL)

Clase de iluminación	Tipo de superficie				Incremento de Umbral	Relación de alrededor
	Seco			Mojado		
	Lav	Uo	Ui	Uo	T	SR
M1	2	0,4	0,7	0,15	10	0,5

Fuente: CONELEC, 2011

Elaboración: El autor

CUADRO 3.22 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA P4 (VEREDA OCCIDENTAL)

Clases de Iluminación	TIPO DE APLICACIÓN	
	Iluminancia Horizontal (lx) Referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P4	5	1

Fuente: CONELEC, 2011

Elaboración: El autor

CUADRO 3.23 CLASE DE ILUMINACIÓN PARA P5 (VEREDA ORIENTAL)

Clases de Iluminación	TIPO DE APLICACIÓN	
	Iluminancia Horizontal (lx) Referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P5	3	0,6

Fuente: CONELEC, 2011

Elaboración: El autor

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS LUMINARIAS

En la calle de estudio se tienen lámparas Schröder Ambar 3 instaladas en 2007, año en el cual se realizó el último cambio. Allí se hallan un total de 19 lámparas distribuidas de la siguiente forma:

CUADRO 3.24 DISTRIBUCIÓN LÁMPARAS

VEREDA ORIENTAL				
	Individuales	Dobles	Funcionales	Apagadas
Lámparas	10	3	13	0
VEREDA OCCIDENTAL				
	Individuales	Dobles	Funcionales	Apagadas
Lámparas	7	0	5	2

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Las notadas como “dobles” en el cuadro 3.24 se refieren a postes que tienen lámparas que iluminan tanto calzada, cuanto a la acera. Solo 2 de ellas presentan iluminación peatonal directa. La vereda occidental no presenta ninguna de este tipo.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LÁMPARAS

A continuación se presenta una tabla resumen con las características técnicas de la lámpara Schröder Ambar 3. Son de Vapor de Sodio de Alta Presión de 400 watts de potencia. Su hora de encendido es las 18h00 y el apagado a las 06h00 del día siguiente, dando una utilización diaria de 12 horas. A las 22h00 al disminuir el flujo de usuarios, tanto peatonales, como vehiculares, la potencia es disminuida a 250 watts.

CUADRO 3.25 PARÁMETROS TÉCNICOS

AMBAR 3 SCHRÉDER		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Flujo luminoso	Lúmenes	54000
Rendimiento de la bombilla	Lúmen/W	
Color de la luz	-	Amarilla (2000K)
Vida promedio bombilla	Horas	32000
Voltaje nominal de la red	Voltios	210
Vatios totales	Watts	440
Factor de potencia	Cos()	0,92
Condensador requerido	MF	40
Tiempo de arranque	Minutos	1,2
Intensidad de arranque	Amperios	1,9
Intensidad nominal de la red	Amperios	Función carga variable
Consumo de la bombilla	Watts	400
Consumo del balasto	Watts	40
Intensidad nominal de la bombilla	Amperios	3

Fuente: Edwin Recalde (EEQ), 2014

Elaboración: El autor

3.3.2 LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

La luz generada por estas lámparas se realiza por descarga eléctrica en vapor de sodio a alta presión. El tubo de descarga contiene un exceso de sodio para dar condiciones de saturación (cuando está en funcionamiento). También posee un exceso de mercurio, como amortiguador, y xenón para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco de descarga a la pared del tubo (Pantoja & Paredes, 2012). El período de arranque dura entre 5 y 7 minutos, donde alcanzan el flujo luminoso nominal.

La luz es obtenida por la emisión generada en el choque de los electrones libres contra los átomos del gas del tubo de descarga. Estos choques excitan a los electrones que pasan a órbitas de más energía. En su retorno a su órbita se

produce la emisión de fotones y la consecuente generación de radiación lumínica. Debido a la elevada presión de los gases en el interior del tubo, se precisa aplicar tensiones muy superiores a las de la red (uso de arrancadores).

Al conectar la lámpara a través de la reactancia, se produce una descarga inicial en la atmósfera de gas auxiliar (xenón/neón) y comienza el calentamiento de la lámpara por acción del arco eléctrico, que va fundiendo y evaporando el sodio metálico y comienza la emisión luminosa (Pantoja & Paredes, 2012).

Son lámparas de gran economicidad, aunque con deficiente reproducción del color. Además de tener la ampolla una forma tubular y ovoide, este tipo de lámparas se caracteriza por lo siguiente:

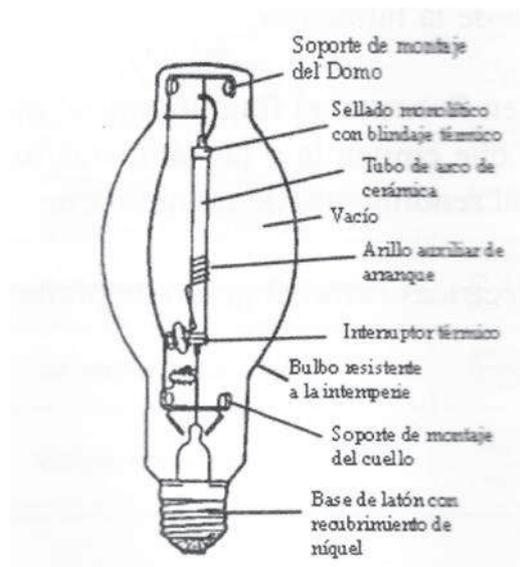
Potencia: 70, 150, 250, 400, 1000 Watts

Rendimiento Luminoso: 90 – 130 lm/watt

Luminancia media: 500 cd/m²

3.3.3 DIMENSIONES

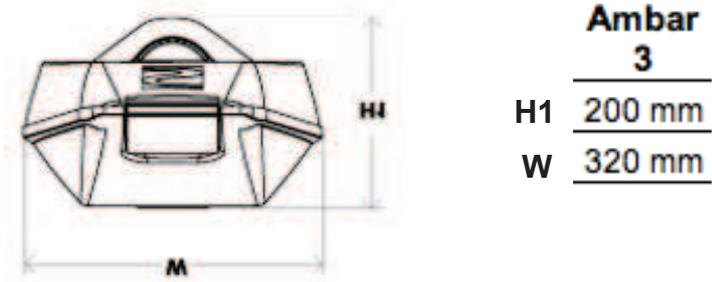
FIGURA 3.3 BOMBILLA DE SODIO DE ALTA PRESIÓN



Fuente: Ministerio de Electricidad y Minas (2001)

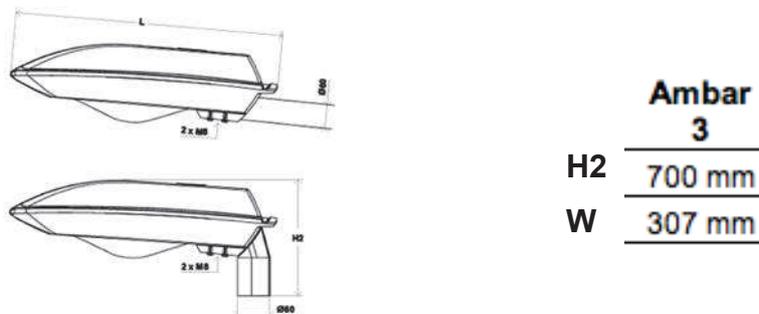
Elaboración: Ministerio de Electricidad y Minas (2001)

FIGURA 3.4 VISTA FRONTAL LÁMPARA AMBAR 3



Fuente: Schröder, 2014
Elaboración: Schröder, 2014

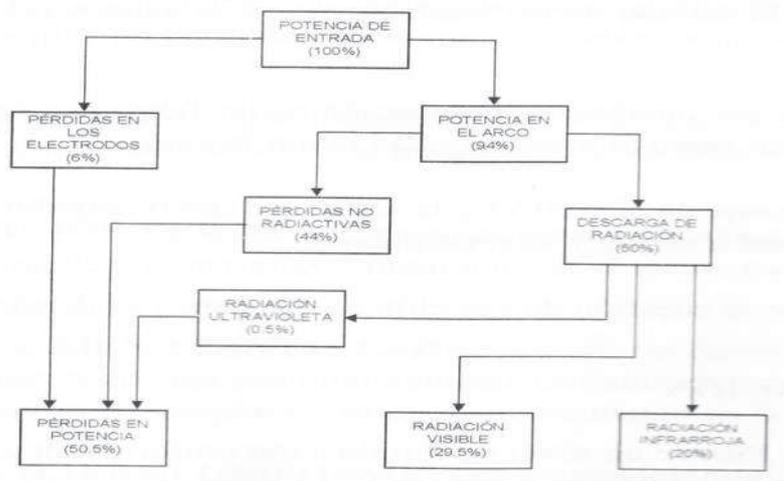
FIGURA 3.5 VISTA LATERAL LÁMPARA AMBAR 3



Fuente: Schröder, 2014
Elaboración: Schröder, 2014

3.3.4 BALANCE ENERGÉTICO

FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE BALANCE ENERGÉTICO DE BOMBILLAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN



Fuente: Ministerio de Electricidad y Minas (2001)
Elaboración: Ministerio de energía y Minas (2001)

3.4 AUDITORÍA ENERGÉTICA

Se denomina auditoría energética a la recolección de datos sobre el suministro y consumo de todas las formas de energía con el propósito de evaluar las posibilidades de ahorro de energía y la cuantificación de las mismas, así como para determinar la conveniencia de la oportunidad económica de ejecutarlas. En 2001 el entonces Ministerio de Energía y Minas, editó un manual de eficiencia energética relacionada con los sistemas de iluminación tanto internos, como externos, del cual se extraen los siguientes puntos claves para realizar una auditoría energética:

1. Recolección de información básica e inventario general de las instalaciones.
2. Elaborar balances de energía, con el objeto de conocer la distribución de energía en las diferentes fases del procesos productivo.
3. Determinar la incidencia del consumo de energía de cada equipo o grupo de equipos en el consumo de energía total y por tanto en el costo total.
4. Obtener índices de consumo de energía los cuales pueden ser usados para determinar la eficiencia energética de las operaciones, y consecuentemente el potencial de ahorro de energía.
5. Determinar los potenciales de ahorro de energía por equipos, áreas o centros de costos, mediante una evaluación técnica detallada.
6. Identificar medidas de ahorro energético.
7. Evaluación de los ahorros de energía en términos de costos.

Este manual nunca se convirtió en ley o alguna figura legal parecida, por lo cual no puede ser utilizado como instrumento jurídico que tenga obligatoriedad de aplicación; sin embargo para los fines de este proyecto de titulación se utilizarán los puntos expuestos con ciertas adaptaciones que estén acordes a los alcances del mismo.

3.4.1 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CUADRO 3.26 CONSUMO ENERGÉTICO VEREDA ORIENTAL

VEREDA ORIENTAL					
Lámparas	Horas/Día	Horas/Mes	Carga instalada (W)	Consumo balasto (W)	CONSUMO/MES (Wh/mes)
13	4	120	400	40	686400
	8	240	250	40	904800
				TOTAL	1591200

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.27 CONSUMO ENERGÉTICO VEREDA OCCIDENTAL

VEREDA OCCIDENTAL					
Lámparas	Horas/Día	Horas/Mes	Carga instalada (W)	Consumo balasto (W)	CONSUMO/MES (Wh/mes)
5	4	120	400	40	264000
	8	240	250	40	348000
				TOTAL	612000

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

TOTAL consumido: 2203,2 kWh/mes

3.4.2 COSTO DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Para el cálculo del costo monetario que tiene el alumbrado público del sector en cuestión, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- La tarifa aplicada corresponde al Pliego Tarifario de la Empresa Eléctrica Quito válido para el período del 1 de enero al 28 de febrero de 2014.
- Se aplica la tasa del 9,5 % del valor facturable como concepto de alumbrado público (vigente en la EEQ).

$$\text{Costo} = 2203 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * 449,59 \frac{\$}{\text{kWh}} * 0,095 = 94092,44 \frac{\$}{\text{mes}} \quad (3.5)$$

Por tanto, la facturación aproximada por servicio de alumbrado público es de 94092 dólares mensuales, tomando como si el consumo total que se paga es exclusivo del alumbrado público.

3.4.3 RELACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Las cantidades de petróleo producido, transportado o procesado se expresan en barriles por día (bbl o b/d). Una regla imprecisa pero sencilla es que un barril por día equivale aproximadamente a 50 toneladas métricas al año, aunque naturalmente el número exacto depende de la densidad y el tipo de producto.

Para medir la energía la unidad más habitual es la Tonelada Equivalente de Petróleo (Tep en castellano, Toe en inglés). Su valor equivale a la energía que hay en una tonelada de petróleo y, como puede variar según la composición de este, se ha tomado un valor convencional de 41,9 GJ. 1 Bep (barril equivalente de petróleo) = 0,14 Tep. El barril equivalente de petróleo (BEP) es una unidad de energía equivalente a la energía liberada durante la quema de un barril aproximadamente (42 galones estadounidenses o 158,9873 litros) de petróleo crudo. El valor es necesariamente una aproximación, pues las diferentes calidades de petróleo tienen poderes caloríficos ligeramente distintos. Un barril de petróleo equivale a $6,12 \times 10^9$ J o 1700 kWh, con referencia de 32,35 °API y densidad relativa 0,8636.

$$BEP = 2203 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ bbl}}{1700 \text{ kWh}} = 1,3 \frac{\text{bbl}}{\text{mes}} \rightarrow 15,6 \frac{\text{bbl}}{\text{año}} \quad (3.6)$$

$$TEP = 1,3 \frac{\text{bbl}}{\text{mes}} * \frac{0,14 \text{ TEP}}{1 \text{ bbl}} = 0,182 \frac{\text{TEP}}{\text{mes}} \rightarrow 2,18 \frac{\text{TEP}}{\text{año}} \quad (3.7)$$

En un año aproximadamente se consumen 16 barriles equivalentes de petróleo, así como 2 toneladas de petróleo equivalente.

3.4.4 DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono se define como la cantidad total de gases de efecto invernadero producidos directa o indirectamente a apoyar las actividades humanas, generalmente expresada en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) (Hernández, 2010).

La medición de la huella de carbono de un producto crea verdaderos beneficios para las organizaciones. La huella de carbono identifica las fuentes de emisiones de GEI de un producto. Esto por lo tanto permite definir mejores objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas de ahorros de costo mejor dirigidas, todo ello consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones, que pueden o no pueden ser de responsabilidad directa de la organización (Organización Huella de Carbono, 2009).

Para convertir la información recopilada y expresarla en toneladas de CO₂ se utilizan factores de emisión que permiten determinar cuánto CO₂ se emite, por ejemplo, al consumir una determinada cantidad de energía. Los factores de conversión estándar fueron definidos por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático). Se parte del hecho que 1000 kWh = 0,0036 TJ, y basándome en la tabla de equivalencias propuestas por la IPCC, se tiene:

CUADRO 3.28 EQUIVALENCIA DE HUELLA DE CARBONO

Combustible	FEC (TON CO₂)*
Diesel	73,326
ENAP 6 (fuel oil)	76,593
Carbón	92,708
Carbón - Petcoke	93,181
Gas Natural	55,8195
Embalse	0

CUADRO 3.28 CONTINUACIÓN

Pasada	0
Biomasa	0
Eólica	0

Fuente: IPCC, 2011
Elaboración: El autor

*FEC: fracción de carbono oxidado

$$Huel\text{laC} = 2203 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{0,0036 \text{TJ}}{1000 \text{kWh}} * \frac{92,708 \text{tonCO}_2}{\text{TJ}} = 0,735 \frac{\text{tonCO}_2}{\text{mes}} \rightarrow 8,82 \frac{\text{tonCO}_2}{\text{año}} \quad (3.8)$$

La huella de carbono aproximada es de casi 9 toneladas de dióxido de carbono por año por consumo eléctrico del sector de estudio.

3.4.5 DETERMINACIÓN NIVELES DE ILUMINACIÓN

Se determinó tanto la luminancia, cuanto la iluminancia de las instalaciones de alumbrado público de la calle de estudio. En primera instancia se utilizó el programa Ulysse v2.3 de la compañía Schröder, proveedora de las lámparas modelo Ambar 3 que son las que se utilizan allí. Dicho programa arroja los resultados del análisis según las características del lugar y de los postes.

Detalla en CAD los puntos de la grilla (grid), donde en la calle, se deben registrar las mediciones, las cuales se realizaron con el Fotómetro AEMC Instruments Modelo CA811 2121.20. Además incluye un informe final donde se describen los aspectos fotométricos de cada diseño. Dichos informes, completos, no se incluyen en este proyecto, debido a su extensión y contenido, el cual va más de los alcances de la presente tesis.

a) Vereda Oriental

CUADRO 3.29 RESUMEN DE VALORES VEREDA ORIENTAL

VEREDA ORIENTAL			
Parámetro	Valor diseñado	Valor medido	Valor límite
Lmed [cd/m ²]	5,98	1,6	2
Uo [%]	48,7	13,3	40
Emín [lux]	57,8	17,3	-
Emed [lux]	96,3	7	-
UL [%]	80,7	6,1	70

Fuente: Múltiple

Elaboración: El autor

Tipo de vía: M1

Ancho de la calzada: 7,5 m

Interdistancia entre postes: 25 m

Carriles: 3

Las mediciones en calle se tomaron conforme la grilla que arrojó el gráfico. Para los puntos longitudinales. Al ser la interdistancia menor a 30 m, por lo tanto N = 10, donde N es el número de puntos a tomar cuenta. Entonces:

$$D = \frac{S}{N} \rightarrow D = \frac{25m}{10} = 2,5m \quad (3.9)$$

D = distancia entre puntos

S = interdistancia

La distancia transversal se tiene en cuenta la ecuación:

$$d = \frac{Wr}{3} \rightarrow d = \frac{7,5m}{3} = 2,5m \quad (3.10)$$

d = distancia horizontal

Wr = ancho de la calzada

a.1) Iluminancia

CUADRO 3.30 NIVELES DE ILUMINACIÓN EN LA VEREDA ORIENTAL

PUNTO	ILUMINANCIA [LUX]	OBSERVACIONES
1	37	
2	28	
3	23	
4	18	
5	13	
6	10	Sombra
7	8	Sombra
8	7	Sombra
9	9	Sombra
10	20	
Promedio	17,3	
Mínimo	7	

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CUADRO 3.31 NIVELES DE ILUMINACIÓN PEATONAL (VEREDA ORIENTAL)

PUNTO	ILUMINANCIA [LUX]	OBSERVACIONES
1	34	
2	25	
3	20	
4	17	
5	15	
6	11	Sombra
7	9	Sombra
8	5	Sombra
9	7	Sombra
10	17	
Promedio	16	
Mínimo	5	

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

a.2) Luminancia

Los puntos se toman de idéntica forma que la iluminancia, conforme la grilla del programa Ulysse.

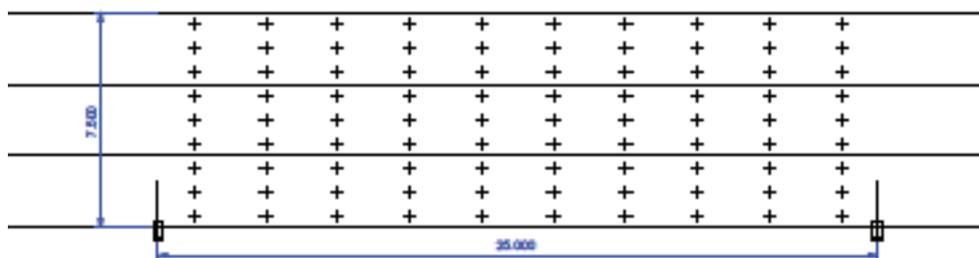
CUADRO 3.32 NIVELES DE LUMINANCIA VEREDA ORIENTAL

LUMINANCIA [cd/m ²]									
2,8	2,1	1,5	1,2	0,7	0,4	0,3	0,2	0,3	1,2
3,1	2,5	1,9	1,3	0,8	0,6	0,6	0,4	0,5	1,5
2,9	2,2	1,8	1,4	1,0	0,8	0,6	0,6	0,7	1,6
3,3	2,5	2,0	1,8	1,2	0,9	1,0	0,8	0,9	2,1
3,6	2,8	2,1	2,3	1,5	1,0	1,2	1,3	1,3	2,0
3,4	2,4	2,1	2,5	1,7	1,6	1,8	1,6	1,7	1,8
3,9	3,4	3,0	3,0	2,2	2,0	2,1	1,9	1,9	2,1
2,8	3,1	3,5	2,9	2,1	2,0	2,0	1,8	1,5	2,2
2,4	2,2	2,4	2,3	1,8	1,6	1,5	1,7	1,4	1,4
Mínimo	0,2								
Máximo	3,9								
Promedio	1,8								

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

FIGURA 3.7 PUNTOS DE MEDIDA VEREDA ORIENTAL



Fuente: Ulysse v2.3

Elaboración: Ulysse v2.3

Esta vereda cuenta con 3 luminarias para la vía peatonal, pero al no haber una regulación específica de niveles de iluminación para este tipo de alumbrado específico, no se incluyen cálculos ni mediciones al respecto.

b) Vereda Occidental

CUADRO 3.33 RESUMEN DE VALORES DE LA VEREDA OCCIDENTAL

VEREDA OCCIDENTAL			
Parámetro	Valor diseñado	Valor medido	Valor límite
Lmed [cd/m ²]	4,96	2,1	1,5
Uo [%]	49,2	33,4	40
Emín [lux]	46,5	11	-
Emed [lux]	79,8	23,6	-
UL [%]	69,9	12,9	70

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

Tipo de vía: M2

Ancho de la calzada: 7,5 m

Interdistancia entre postes: 30 m

Carriles: 3

Las mediciones que se tomaron conforme la grilla que arrojó el gráfico. Para los puntos longitudinales. Al ser la interdistancia igual a 30 m, por lo tanto $N = 10$, donde N es el número de puntos a tomar cuenta. Entonces:

$$D = \frac{S}{N} \rightarrow D = \frac{30m}{10} = 3m \quad (3.11)$$

En este caso se hace la acotación que la interdistancia tomada es un promedio aproximado, puesto que no hay uniformidad en la distancia de poste a poste, habiendo algunas de 25 m y otras de 36 m.

La distancia transversal se tiene en cuenta la ecuación:

$$d = \frac{Wr}{3} \rightarrow d = \frac{7,5m}{3} = 2,5m \quad (3.12)$$

b.1) Iluminancia

CUADRO 3.34 NIVELES DE ILUMINACIÓN VEREDA OCCIDENTAL

SECCIÓN E	
PUNTO	ILUMINANCIA [LUX]
1	62
2	38
3	24
4	16
5	11
6	11
7	12
8	15
9	17
10	30
Promedio	23,6
Mínimo	11

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

b.2) Luminancia

CUADRO 3.35 NIVELES DE LUMINANCIA VEREDA OCCIDENTAL

LUMINANCIA [cd/m ²]									
4,0	2,4	1,8	0,9	0,7	0,8	0,9	0,9	1,2	2,1
4,2	2,8	1,8	1,2	0,8	0,8	1,0	1,1	1,4	2,2
4,9	3,0	1,9	1,3	0,9	0,9	1,0	1,2	1,4	2,4

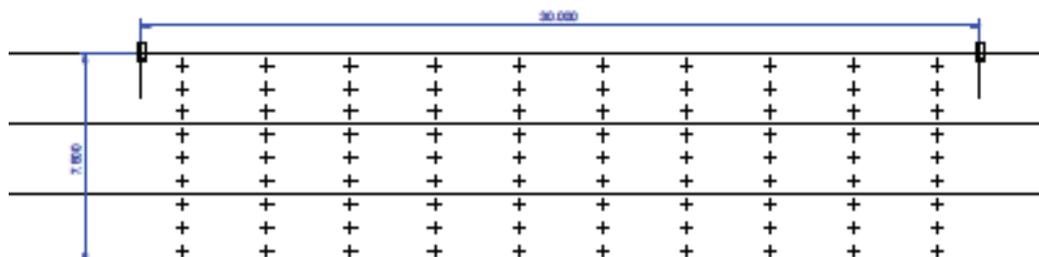
CUADRO 3.35 CONTINUACIÓN

5,2	3,2	2,1	1,5	1,3	1,0	1,2	1,5	1,7	2,8
5,3	3,6	2,4	1,6	1,5	1,5	1,7	1,8	2,0	2,9
5,6	3,9	2,8	1,8	1,8	1,6	2,0	2,1	2,4	2,6
5,2	3,7	2,5	1,8	1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5
4,5	3,3	2,4	1,7	1,4	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3
4,4	3,2	2,3	1,6	1,4	1,4	1,6	1,6	2,0	2,1
Mínimo	0,7								
Máximo	5,6								
Promedio	2,1								

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

FIGURA 3.8 PUNTOS DE MEDIDA VEREDA OCCIDENTAL



Fuente: Ulysse v2.3

Elaboración: Ulysse v2.3

3.5 NIVELES DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

En el apartado 4.6.4.1 del Reglamento Técnico INEN 069 se tiene que: Para calcular el grado de contaminación lumínica enviado sobre la horizontal de una instalación de alumbrado, debe tenerse en cuenta:

$$\varphi_{\text{Total}} = \text{ULOR} + \text{UWLR} + \text{Kr1} + \text{Kr2} \quad (3.13)$$

Donde:

ϕ_{total} = Flujo Hemisférico Superior

Kr1 = Reflexión de la vía

Kr2 = Reflexión de alrededores

ULOR = Upward Light Output Ratio = la relación del flujo luminoso de la luminaria con respecto al flujo luminoso de la lámpara, enviado sobre la horizontal.

UWLR = Upward Wasted Light Ratio = es el porcentaje del flujo luminoso de una luminaria, enviado sobre la horizontal.

FIGURA 3.9 ESQUEMA DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA



Fuente: RTE 069 (2013)

Elaboración: RTE 069 (2013)

Consideraciones de cálculo:

- El ULOR se tomará como 10 % ya que es la mitad del valor máximo que asigna Schröder a sus lámparas Ambar 3, para este factor.

- El UWLR se tomará como 1,6 % (Cinzano, 2003), valor tomado de un estudio llevado a cabo con luminarias de alumbrado público en Padova, Italia. No existen mayores referencias de cálculo de este tipo de factor, por lo que se asume esta cifra al ser un promedio de varias lámparas.

- Kr1 = 4 % para hormigón seco (Camino, 2011) del pavimento.

- Kr2 = 6 % enyesado viejo y seco (Caminos, 2011) de los edificios aledaños

$$\varphi_{total} = 10 + 1,6 + 4 + 6 = 21,6\% \quad (3.14)$$

Por tanto el valor de “desperdicio” luminoso es de aproximadamente 22 %.

Entonces el flujo útil es: $\varphi_{\text{útil}} = \varphi_{\text{nominal}} * (1 - \varphi_{total})$ (3.15)

$$\varphi_{\text{útil}} = 54000lm * (1 - 0,22) = 42120lm \quad (3.16)$$

Las normativas nacionales no exponen niveles permisibles de contaminación lumínica, a pesar de constar en el Reglamento Técnico INEN 069:2011. Sin embargo se consideran los límites de la norma española, donde se expone que el Flujo Hemisférico Superior admisible es entre 5 y 10 %. Por tanto en este caso tenemos presencia de contaminación luminosa. Hacia el cielo están siendo enviados 11880 lúmenes sin control.

Además, al ser este sector, de tipo E3, según el sistema de zonificación propuesto por la CEI (2001), se tiene que el límite permisible es 15 % (ver cuadro 2.14), por tanto también excede este valor. A pesar de ello, aquí existe una cierta ambivalencia, puesto que el sector de estudio puede incluirse inclusive en la zona E4 de Centros Urbanos con alta actividad nocturna, por su pertenencia a La Mariscal, donde el límite máximo es de 25 % y cumpliría la referencia. Sin embargo por la dualidad del sector, hay un conflicto en la conclusión al respecto.

No obstante existen detractores de esta cuantificación, como Herranz (2009) en su estudio “Aspectos científicos de la contaminación lumínica”, donde expresa que el Flujo Hemisférico Superior no es una medida fidedigna de contaminación luminosa, puesto que el cálculo considera factores externos a las lámparas propiamente, como las reflexiones de las superficies, las cuales son incontrolables. Incluso propone el siguiente ejemplo, citado textualmente: “...considérese que, en promedio, la fracción de flujo devuelta por el suelo es aproximadamente el 10% del flujo total emitido por una luminaria. Por tanto, por

cada 100 lm emitidos desde una luminaria, 10 lm son reflejados irremediablemente hacia arriba. Si permitimos, por ejemplo, que otros 3 lm sean emitidos directamente hacia el cielo desde la luminaria (FHS=3%), el flujo hemisférico superior del conjunto sería unos 13 lm, lo que supone un aumento de contaminación lumínica debida al FHS de aproximadamente el 30%, sobre lo ya inevitable por la reflexión del suelo”.

3.5.1 Rendimiento Luminoso

El rendimiento o eficacia lumínica está calculado en base al flujo luminoso útil.

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\text{Potencia}} \rightarrow \eta = \frac{42120 \text{ lm}}{400 \text{ W}} = 105,3 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \quad (3.17)$$

Tampoco hay referencias certeras para este parámetro. Ollé (2010) recomienda un rendimiento admisible mayor o igual a 65 lm/W. Por tanto para este parámetro las luminarias en cuestión cumplen con lo estipulado.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO

El decaimiento de la influencia del centro histórico sobre el resto de la ciudad solo se ve soportada por la Casa Presidencial y Municipal que allí funcionan hasta nuestros días, teniendo una población y economía mermada en comparación a años anteriores, no apta para tráfico pesado, con embotellamientos y de difícil circulación peatonal y vehicular, dado que no fue planificada para tales fines, convirtiéndose más en un centro cultural por la cantidad de iglesias y museos que alberga, que en un lugar de intercambio de bienes y servicios. En el sur de la ciudad ocurre algo diferente, aunque su crecimiento es igualmente desordenado, se constituye en hogar de la clase obrera y clase media baja de Quito, y no puede hacerle competencia al norte, donde se van monopolizando las funciones económicas dominantes relativas a los procesos de producción, intercambio, consumo, control administrativo y gestión financiera, pese a que el sur contaba con empresas como Plywood, Orangine o Aymesa, que tenían flujos importantes de dinero, más sin embargo se encontraban fuera del cono urbano quiteño. Actualmente la ciudad y su expansión han incorporado a estos sectores alejados, al nuevo “macrocentro” sureño, por las actividades de mercado que allí se realizan actualmente.

El resultado de los conteos de automotores refleja una clara ocupación mayoritaria sobre el lado occidental de la calzada, donde el flujo es en sentido norte – sur, presumiblemente por el retorno de las personas de sus lugares de trabajo a las horas durante las cuales se hicieron los conteos. En el sentido sur – norte la relación es contraria, siendo el flujo de automóviles particulares menos de la mitad que la que fue en sentido contrario: 9028 a 4275, respectivamente, siendo los días martes los de mayor afluencia en cada caso, bajando conforme

avanza la semana y teniendo un incremento considerable entre las 19h30 y 20h30, contrario a lo que se podría pensar respecto a la hora. Los vehículos pesados mantienen la misma tendencia, con casi 3 veces la diferencia: 59 a 23 para cada caso. Los autobuses no presentan mayor variación 575 a 542.

El conteo peatonal arroja resultados de igual tendencia; la mayor parte de personas se encuentran sobre la vereda occidental, lado de la calzada donde los automóviles circulan en sentido norte – sur, aunque sin mucha diferencia en número: 4249 a 3590. Sin embargo se tiene que acotar que el flujo peatonal disminuye a partir de las 19h30, en ambos sentidos, cosa contraria a lo que sucedía en los vehículos. Así mismo se tiene la mayor presencia de personas en los 2 primeros días de la semana, disminuyendo conforme avanza la misma, pero con la salvedad que el día viernes hay un repunte interesante que asemeja valores cercanos al de los lunes o martes.

Además se cuenta con el particular que la vereda occidental no cuenta con iluminación peatonal, solo hacia la calzada, y con menor número de luminarias que la vereda oriental (7 a 13). Esta última tiene 3 lámparas dedicadas a la iluminación peatonal, las cuales son consecutivas desde aproximadamente la entrada a la Universidad Politécnica Salesiana hasta la esquina de la Avenida 12 de Octubre y Alfredo Mena Caamaño.

Los datos de la Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda del DMQ, hace una proyección poblacional basada en los censos de 1990 y 2001, teniendo una tasa de crecimiento negativa, dando como conclusión que este sector tendrá una tendencia de “expulsar” habitantes y convertirse en un lugar de paso. Para los próximos 6 y 10 años, se prevé una baja de poco más de 5000 personas en esta parroquia, por lo que la presión sobre los recursos, energético en este caso, debería ser menor y tender a ir disminuyendo cada vez más junto con la población, solo debiendo abastecer las necesidades de transeúntes nocturnos (vehiculares y peatones) en ciertos límites.

4.2 ANÁLISIS LUMINOTÉCNICO

Se tienen un total de 20 lámparas en la calle de estudio. Distribuidas conforme muestra el cuadro 3.24, mostrado en el capítulo 3. En un recorrido por el sitio se observa que en la vereda occidental tiene 2 lámparas apagadas, las cuales no encienden a ningún momento, localizadas, la primera en la intersección de Mariscal Foch y 12 de Octubre la una, y la segunda en Wilson y 12 de Octubre.

Las lámparas Schröder Ambar 3 instaladas tienen un color amarillo con una temperatura de 2000 K, caracterizada como cálida, y cercana a la luz de una vela (1800 K), teniendo un índice de reproducción cromática (CRI) menor al 70 %, lo cual indica que la fuente luminosa no tiene una elevada capacidad para reproducir exactamente los colores de varios objetos en comparación con una fuente de luz natural o ideal. Según la norma nacional RTE 069 (2013) se tiene que este CRI, tiene su aplicación en áreas donde la calidad de apreciación correcta de color es de poca importancia.

Los resultados obtenidos de la medición in situ de las luminarias y cálculos posterior, reflejan una disparidad entre lo que se diseña con la herramienta informática Ulysse v2.3 de la compañía Schröder, misma fabricante de las lámparas en análisis, donde se arrojan valores para luminancia media de 5,98 y 4,96 [cd/m^2] para las veredas oriental y occidental respectivamente, mientras que los valores medidos indican 1,6 y 2,1 para el mismo orden. Dicha disparidad es llamativa tomando en cuenta que superan los límites normados por mucho, y que los valores calculados sí cumplen para $M1 = 2$ [cd/m^2] (vereda oriental), aunque no así para $M2 = 1,5$ [cd/m^2] (vereda occidental), el cual es superado por 0,6 [cd/m^2]. Sin embargo hay que tomar en cuenta que en la vereda occidental, se supera por aparentemente poco, pero con 2 lámparas que no están en funcionamiento, como ya se explicó anteriormente. Si estuvieran encendidas, la cifra de esta vereda seguramente subiría más. Como dato adicional cabe mencionar que ambos valores están dentro del rango Mesópico de las capacidades del sistema visual humano, donde se tiene entre otras cosas, un corrimiento de la sensibilidad espectral.

Los niveles de iluminación son aceptables y cumplen con su función, a pesar que no se presentan límites para vías M1 y M2 en ninguna normativa aplicable. Además hay que recalcar que para el alumbrado peatonal no existen ningún tipo de niveles referenciales, solo se la puede caracterizar el tipo de vía conforme la Regulación 008/2011 del CONELEC. En contraste se tiene que los valores de diseño dados por Ulysse v2.3 son bastante altos en comparación a los medidos para ambos casos. La razón de este hecho puede recaer en las sombras generadas por los árboles, que es más evidente en la vereda oriental. La vereda oriental cuenta con iluminación peatonal de tipo P5, cuyos valores están reflejados en el cuadro 3.31. Superan los establecidos por el CONELEC, sin embargo estos no son límites realmente, sino referenciales ya que no imponen máximos admisibles, sino hablan de promedios. La vereda occidental no presenta este tipo de alumbrado, así que no entra en análisis, pero hay que mencionar que sí le debería tenerlo en algunos puntos que son oscuros y sobretodo es más ancha que la vereda opuesta.

Los coeficientes de uniformidad, tanto longitudinal cuanto general están muy por debajo de los límites admisibles en el caso de la vereda oriental. Sin embargo persiste la inconsistencia con las cifras de diseño, las cuales sobrepasan los porcentajes máximos normados. En cuanto a la vereda occidental los valores calculados de la uniformidad general son más cercanos, tanto al límite, el cual cumple, y al diseñado; de todas formas este último sigue rebasando la norma. Para la uniformidad longitudinal la relación es inversa, el diseño está casi a la par de la normativa (69,9 a 70 %), no así el valor calculado, el cual queda bastante rezagado con 12,9 %, destacando que cumple el límite permitido. En este caso se muestra que la relación entre las luminancias mínima y promedio es relativamente buena, ya que está acorde a la normativa, no así la relación entre la mínima y la máxima, la cual es muy distante. Para el caso de la vereda oriental ambas relaciones son discordantes.

4.3 ANÁLISIS AMBIENTAL

El consumo energético se ha visto en alza y es claro por la presión ejercida sobre este recurso. En el caso presente las 13 luminarias involucradas tienen un consumo mensual de 2203 kWh aproximadamente, algo así como 1000 lavadoras de ropa encendidas, lo cual equivale en dinero a un costo de 94000 dólares mensuales, esto aplicando las tasas de la Empresa Eléctrica Quito.

Esta energía se ve traducida en un consumo de combustible, para evaluar las cantidades de petróleo involucradas en el alumbrado público. Se tienen 15,6 barriles equivalente de petróleo al año, así como 2,18 toneladas equivalentes de petróleo. Ineludiblemente se calcula la huella de carbono generada por la actividad, la cual dicta que se emiten casi 9 toneladas de CO₂ por año, debido al alumbrado público del tramo seleccionado. En número y cantidad no parece mucho, tomando como referencia las cuantiosas cantidades que se extraen diariamente. Sin embargo hay que tomar en cuenta que es solo un pequeño tramo de análisis, hay que imaginar cuanto aporta el global de todas las lámparas instaladas en el DMQ. Seguramente el valor se dispara y ya se tendrían cifras bastante más considerables.

La contaminación lumínica presente es del 22 % aproximadamente, dando como flujo útil 42000 lúmenes. Estos valores indican un desperdicio del porcentaje mencionado, flujo luminoso desperdiciado, que no cumple su objetivo de instalación y que se dispersa hacia el cielo nocturno o ingresa como luz intrusiva en los edificios presentes del sector. El rendimiento luminoso es de 105 lm/W, valor que aparentemente es bueno, pero no hay normas comparativas de límites aplicables, solo las cifras referenciales propuestas por Ollé (2010) en sus estudios, dentro los cuales las lámparas cumplen (\square 65 lm/W).

En consecuencia, los costos involucrados en el desperdicio son de aproximadamente \$20700 dólares de la facturación mensual por concepto del 22 % del flujo luminoso no aprovechado, y de aproximadamente 300 dólares si miramos la equivalencia con los barriles de petróleo anuales, asumiendo un valor

de 100 por barril, el precio al cual oscila actualmente. Sin embargo este último no parece representativo, nuevamente la reflexión está hacia mirar el global del alumbrado público, ya que este estudio es apenas un tramo de calle de todo el conglomerado nacional. El valor total de seguro ya sería relevante, si solo se tomara en cuenta el equivalente en crudo, ya que los número facturables son de por sí considerables.

No existen evidencias que certifiquen alteraciones del sistema nervioso o ciclos biológicos humanos, de flora o fauna, sobre todo porque no hay presencia de especies nocturnas que puedan verse afectadas por la contaminación luminosa. El flujo disperso hacia el cielo mayormente, dificulta el avistamiento de cuerpos celestes por parte de personeros del Observatorio Astronómico de Quito, quienes aseguran que esta es una de las causas que impiden ver con claridad las formaciones estelares que les competen, claro está, que esto va más allá de la pésima “calidad del cielo” de la ciudad, dicho por ellos mismo, lo cual compromete mucho su trabajo, haciendo que los causales restantes pasen a un segundo plano. Además se destaca el hecho que se presenta una conjetura respecto a los límites del flujo desperdiciado, esto por la zonificación E3 (áreas urbanas residenciales) la cual admite 15 % y la E4 (centros urbanos con elevada actividad nocturna) que tiene un máximo de 25 %, según cual sea, se admite o se excede, conforme está explicado en el penúltimo párrafo del acápite 3.5 del capítulo anterior.

Finalmente se puede resumir las lámparas utilizadas, como relativamente ineficientes, acotando que 2 de ellas están sin utilizar y que su tiempo de vida útil ha llegado su etapa final. Además al ser de sodio de alta presión, emiten solo dentro del espectro visible, su luz tiene rendimientos de color entre 20 y 80 %; en tanto que los de baja presión emiten solo en una estrecha zona del espectro, dejando limpio el resto. Se la considera la más eficiente del mercado y carece de residuos tóxicos y peligrosos; lo negativo de estas últimas es que se las recomienda solo para alumbrados de seguridad y carretera fuera de núcleos urbanos (Caminos, 2011).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La zona en cuestión presenta ambivalencias al momento de definir su caracterización de usos de suelo y planificación territorial, por lo que resulta ambiguo dar una precisa caracterización de la zona, lo cual se requiere para identificar los problemas de iluminación, conllevando a aplicar de forma errónea los criterios de las normativas.
- El tramo de calle en análisis presenta niveles de contaminación lumínica del 22 % (flujo hemisférico superior), lo cual genera un gasto innecesario de aproximadamente \$20700 dólares por concepto de iluminación desperdiciada, lo cual representa casi la cuarta parte del costo por iluminación del sector.
- No se presentan evidencias palpables de afectaciones a ciclos biológicos de flora o fauna, en gran parte debido a la NO presencia de éstas últimas en el sector, más allá de una eventual aparición estacionaria. En humanos no hay registros de que el ciclo circadiano haya sido afectado, sin embargo es un factor de riesgo si los edificios de la zona fuesen más altos, o que vuelvan a ser ocupados como residenciales.
- Las lámparas (Schröder Ambar 3) de la vereda oriental cumplen con los valores de luminancia adecuados ($1,6 \square 2$ [cd/m^2]), en tanto que las de la vereda occidental los exceden ($2,1 \square 1,5$ [cd/m^2]). Los niveles de iluminación (iluminancia) son aparentemente adecuados, no existen valores límites para comparar. Ya dependerán de los factores visuales involucrados de cada persona la percepción de estos niveles.

- El sistema de iluminación de la calle de estudio requiere un cambio inmediato, puesto que sus lámparas están al límite de su tiempo de vida útil, inclusive 2 ellas ya están apagadas. Sin embargo su rendimiento luminoso (105 lm/W) es aceptable, aunque este valor no es comparado con una cifra normativa oficial, más bien por valores de estudios fotométricos.
- El derroche energético del alumbrado público, expresado como presente es un causal referente de la dificultad para avistamiento de cuerpos celestes en la ciudad, tomando en cuenta siempre que el cielo de Quito carece de calidad para avistamientos de este tipo.
- La energía no aprovechada se traduce en 2,18 toneladas equivalentes de petróleo anuales desperdiciadas, generando una huella de carbono de casi 9 toneladas de CO₂. Esto lo convierte en un precursor/generador de gases de efecto invernadero (GEI).
- El plan de mantenimiento de los equipos de iluminación no parece haber dado frutos, puesto que no se nota una vigilancia constante del estado de las luminarias. También se nota desinterés de las personas por pedir que se les arregle las lámparas apagadas, o a su vez descoordinación entre los supervisores y operarios del sector, que no atienden al pedido.

5.2 RECOMENDACIONES

- Establecer un plan de reingeniería de los procesos de iluminación en el sector, que incluyan un rediseño de las luminarias, conforme los usos de la zona en estudio, modificando potencias y niveles de iluminación. Considerar los factores fisiológicos y técnicos involucrados en el proceso de la visión, así como también el “acomodamiento” visual a las características de la noche. Además se pueden incorporar equipos de automatización de las luminarias, los cuales regulen el flujo luminoso aportante, de tal forma que se aumente o disminuya conforme haya mayor o menor demanda de luz.

- Cambiar las lámparas por otras más eficientes, como las de sodio de baja presión, en lugar de las de alta que se utilizan actualmente, o a su vez LEDs que ya están siendo colocados en la zona del Centro Histórico. A pesar que estos son más costosos, si se hace un análisis de costos, estos se compensarían con el dinero que se “desperdicia” por el flujo luminoso no aprovechado.
- Elaborar una reestructuración del alumbrado peatonal, necesario en ambas veredas, sobre todo en la del lado occidental donde la acera es más ancha y no existe ninguna iluminación directa para los peatones. Eventualmente se recomendaría evaluar la posibilidad de extender la red peatonal en la vereda oriental, puesto que lugares como la salida de la Universidad Politécnica Salesiana o la esquina de Madrid y 12 de Octubre, carecen de alumbrado de este tipo.
- Insertar en los planes de ordenamiento territorial un perfil ambiental urbano, donde se incluya la variable de alumbrado público y sus repercusiones, el uso indebido del recurso y la eficiencia energética, de tal forma que se lo considere al momento de ejecutar o implementar planes de desarrollo urbanístico.
- Las normas nacionales, Reglamento Técnico INEN 069 y la Regulación N°. 008/11 del CONELEC no presentan límites de cuantificación para niveles de iluminación, por lo que se hace imperioso incluirlos, al menos de forma referencial para cada actividad. Además se sugiere tomar como norma base la regulación del CONELEC, puesto que tiene la competencia de Autoridad de Aplicación Responsable, por tanto ejerce tutela sobre los sistemas de electrificación nacionales. Recordar que el reglamento INEN es complementario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

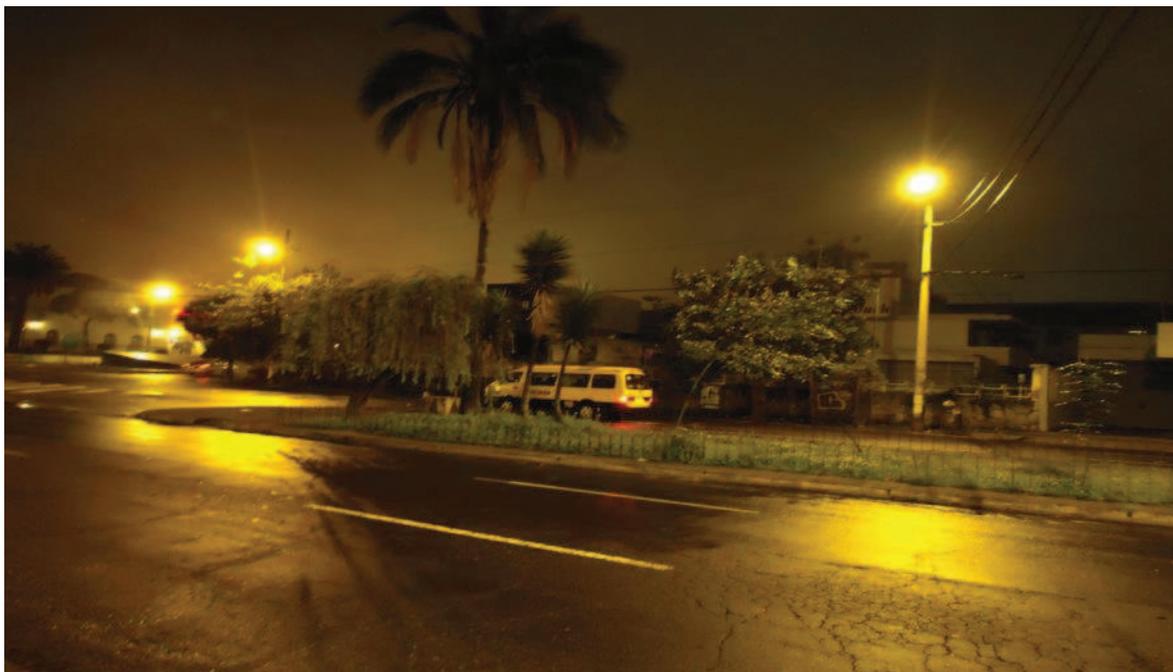
1. Assaf, L. (2012). Visión Humana como base del diseño de iluminación, INER, http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/07_02_Conferencia_Assaf1.pdf
2. Caminos, J. (2011). Criterios de diseño en iluminación y color. Santa Fe, edUTecNe.
3. CIE (2006), Road Lighting Calculations (CIE 140 – 2000), Viena, IHS
Cinzano, P. (2003). Light pollution by luminaires in roadway lighting (CIE TC4-21). Padova, ISTIL.
4. Colombo, E. y Beatriz O'Donell (2010). Luz, color y visión. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap02.pdf>
5. Colombo, E., O'Donell, B. y Carlos Kirschbaum (2010). Iluminación eficaz, calidad y factores humanos. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap03.pdf>
6. Comité Español de Iluminación/CEI (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Madrid, IDAE.
7. CONELEC (2011). Prestación del servicio de alumbrado público general (Regulación N°. CONELEC – 008/11), Quito, CONELEC
8. CONUEE (2010). Guía de Iluminación Eficiente en Alumbrado Público. http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7369/8/alumbrado_publico.pdf

9. Crawford, D. (2008). Contaminación Lumínica: El Problema, Las Soluciones. International Dark-Sky Association. <http://www.darksky.org/assets/documents/is134s.pdf>
10. Empresa Eléctrica Quito (2009). Instructivo para trabajos del taller de Alumbrado Público. <http://www.eeq.com.ec/upload/normas/17.pdf>
11. Galadí, D. (2009). Medidas de brillo artificial del cielo nocturno: instrumentación y metodología (GT-LUZ, N° 9-1.2). Barcelona, CONAMA.
12. García, J. y Oriol Boix (2010), Luminotecnia. Iluminación de interiores y exteriores, Universidad Politécnica de Catalunya. <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/>
13. Hernández, J. (2010). Ahorro de la energía y la contaminación lumínica. Tesis, 2010, México D.F.
14. Herranz, C (2009). Aspectos científicos de la contaminación lumínica (GT-LUZ, N° 9-1.1). Barcelona, CONAMA.
15. Horts, P (2006). ¿Quién nos ha robado la vía láctea? <http://www.iac.es/proyecto/otpc/ph/contam.php>
16. INEN (2013). Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”. Quito, MIPRO
17. International Astronomical Union (2014). Controlling light pollution, IAU. http://www.iau.org/public/themes/light_pollution/
18. Malón, S. y Alberto Bañuelos (2011). “El papel de la ingeniería independiente en el control del consumo y la contaminación lumínica”. Revista del Colegio Oficial de Físicos, pp. 36 – 38.

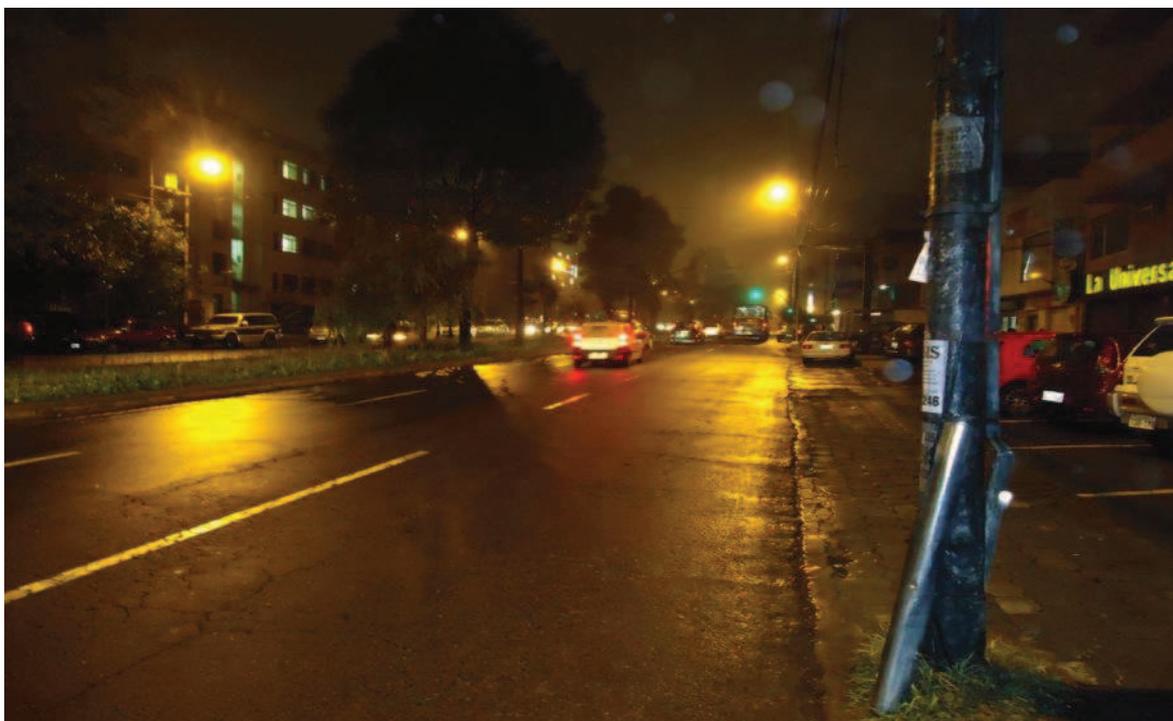
19. Matas, J. (2000). “El perfil ambiental: un instrumento de diagnóstico para un centro metropolitano”. Revista Eure, pp. 57 – 68.
20. Ollé, J (2010). “Descontaminación lumínica y máxima eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado exterior 2º parte.” XXXVI Simposium Nacional de Alumbrado.
21. Pañi, W. y Milton Lojano, (2011). Mapa Lumínico del área urbana de la ciudad de Cuenca. Tesis 2011, Cuenca.
22. Ponce, A. (2012). La Mariscal, Historia de un barrio moderno en Quito en el siglo XX, Quito, Librimundi.
23. Rol, et al. (2011). “El lado oscuro de la luz: Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana”. Revista del Colegio Oficial de Físicos, pp. 20
24. Schröder (2014). Ambar 3, The Green Light: Schröder Environmental Profile, <http://www.schreder.com/SiteCollectionDocuments/Products/Ambar/AMBAR-3-Product-Environmental-Profile-V1.pdf>

ANEXOS

ANEXO N° 1
FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA N°1. ESQUINA DE MADRID Y 12 DE OCTUBRE

Nótese la cantidad de árboles que obstaculizan el paso de luz, sobretodo por su densidad de copa y altura.

FOTOGRAFÍA N°2. SENTIDO NORTE – SUR (AV. 12 DE OCTUBRE)

Calzada occidental (Norte-Sur)

FOTOGRAFÍA N°3. PARADA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Penumbra a la salida de la UPS

FOTOGRAFÍA N°4. ENTRADA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

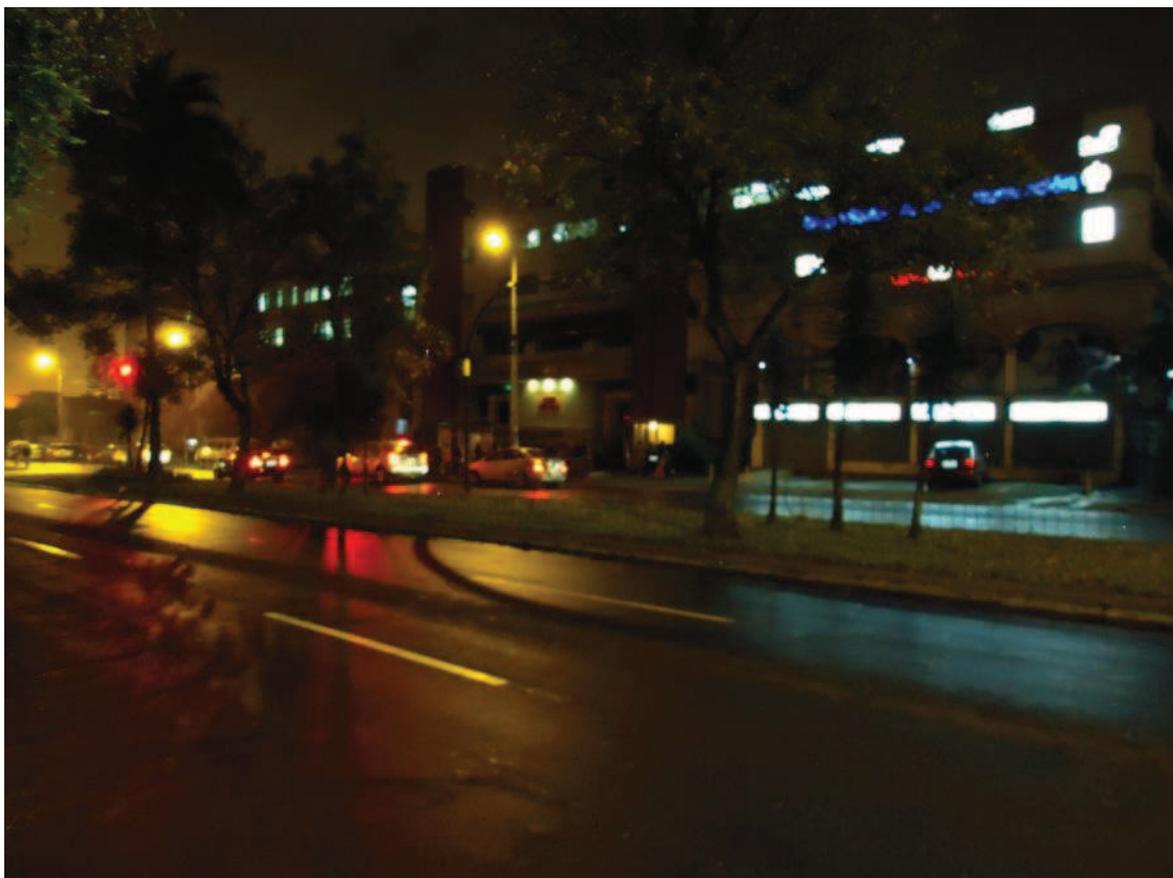
Más árboles obscureciendo la visión en la acera.

FOTOGRAFÍA N°5. LUMINARIA DOBLE

Puntualizar que la lámpara de alumbrado peatonal está apagada. La vehicular funciona normalmente.

FOTOGRAFÍA N°6. ESQUINA DE WILSON Y 12 DE OCTUBRE

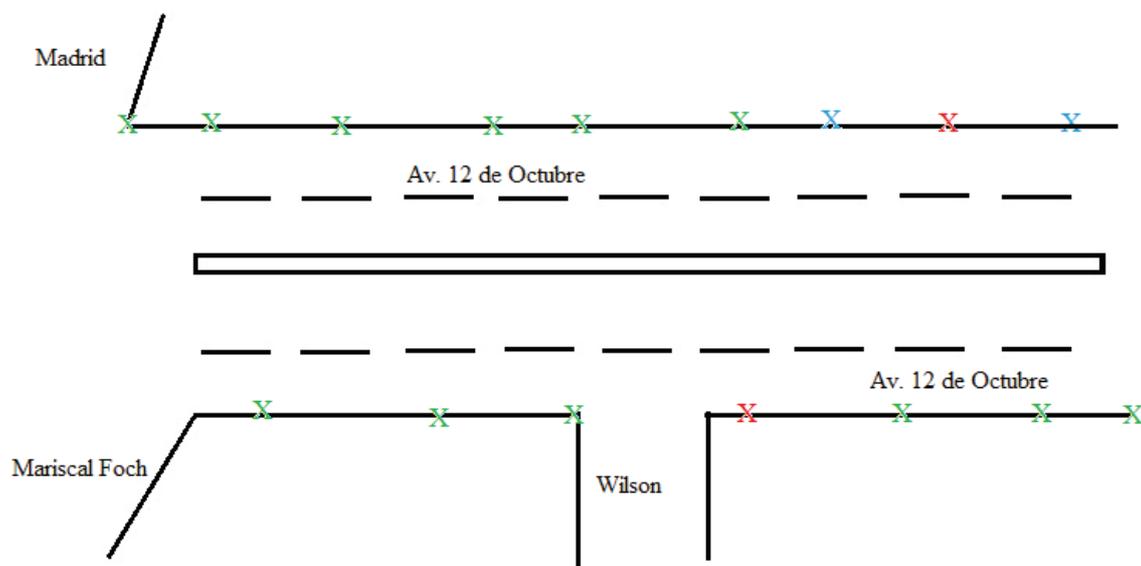
Lámpara apagada y penumbra alrededor.

FOTOGRAFÍA N° 7. SENTIDO SUR – NORTE

Aparente buena iluminación en la calzada oriental

ANEXO N° 2
REFERENCIA POSICIONAL LUMINARIAS

VISTA EN PLANTA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LUMINARIAS



X = Poste

X = Lámpara apagada

X = Luminaria doble (peatonal y vehicular)

Se aprecia que la distribución de lámparas no es uniforme, parece ser en tres bolillo en un tramo, mientras que en otro parece ser bilateral opuesta.

ANEXO N° 3
PLIEGO TARIFARIO EEQ

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO

PLIEGO TARIFARIO VIGENTE

PERÍODO DE CONSUMO: 1 AL 28 DE FEBRERO DE 2014

APLICACIÓN: El presente pliego tarifario se aplicará a todos los consumidores finales, cuyas características generales se definen en el artículo 17 del Reglamento de Tarifas y que no hayan suscrito contratos a plazo con Generadoras o Distribuidoras.

TARIFAS DE BAJA TENSIÓN

Esta tarifa se aplicará a los consumidores Residenciales (R1), Residenciales Temporales (R2), Comerciales y Entidades Oficiales sin Demanda (G1), Escenarios Deportivos, Instalaciones de Bombeo de Agua sin Demanda, Industrial Artesanal (G2), Asistencia Social y Beneficio Público sin Demanda (G3) y Tarifa General con Demanda (BTGD), servidos por la Empresa en los niveles de voltaje de hasta 600V.

A. SERVICIO RESIDENCIAL (R1)

APLICACIÓN: Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría de Tarifa Residencial, independiente de la carga conectada.

CARGOS:

US\$ 1.414	por factura, en concepto de Comercialización, independiente del consumo de energía.
BLOQUE DE CONSUMO KWh	CARGOS POR CONSUMO US\$
0 - 50	0.068 por cada KWh de consumo en el mes.
51- 100	0.071 por cada uno de los siguientes 50 KWh de consumo en el mes.
101 - 130	0.073 por cada uno de los siguientes 30 KWh de consumo en el mes.
131- 150	0.073 por cada uno de los siguientes 20 KWh de consumo en el mes.
151 - 200	0.080 por cada uno de los siguientes 50 KWh de consumo en el mes.
201 - 250	0.087 por cada uno de los siguientes 50 KWh de consumo en el mes.
251- 300	0.089 por cada uno de los siguientes 50 KWh de consumo en el mes.
301 - 350	0.089 por cada uno de los siguientes 50 KWh de consumo en el mes.
351 - 500	0.089 por cada uno de los siguientes 150 KWh de consumo en el mes.
501 - 700	0.1185 por cada uno de los siguientes 200 KWh de consumo en el mes.
701 - 1000	0.1350 por cada uno de los siguientes 300 KWh de consumo en el mes.
1001 - 1500	0.1609 por cada uno de los siguientes 500 KWh de consumo en el mes.
1501 - 2500	0.2652 por cada uno de los siguientes 1000 KWh de consumo en el mes.
2501 - 3500	0.4260 por cada uno de los siguientes 1000 KWh de consumo en el mes.
3501 y superior	0.6712 por cada uno de los siguientes KWh de consumo en el mes.
Subsidio Cruzado	1.80 de descuento en el valor de la planilla por consumo, a los abonados que consumen entre 1 y 130 KWh /mes, con un mínimo de pago correspondiente al cargo por Comercialización.
Subsidio Solidario	10% del valor de la planilla por consumo, por concepto de contribución al Subsidio Cruzado, a los abonados que consumen desde 161 KWh en adelante.
Subsidio Tarifa Dignidad	Los Abonados Residenciales que consumen hasta 110 KWh/mes, con base en el Decreto Ejecutivo N° 451-A, recibirán un subsidio en un valor tal que como máximo pagarán US\$ 0,04/KWh de consumo y US\$ 0,70 por comercialización. El valor del subsidio por la Tarifa de la Dignidad constará en la planilla que corresponda, como un concepto independiente. Para la aplicación, en los procedimientos de cálculo se considerará inicialmente la misma forma como se venía haciéndolo y luego se aplicará el beneficio del Decreto en referencia.
9.5%	del valor de la planilla por consumo, sin subsidio, en concepto de Alumbrado Público.
US\$1.70	Contribución para el Cuerpo de Bomberos
Tasa de Basura	Los valores que se deben aplicar por la Tasa de Recolección de Basura y tasas adicionales se encuentran detallados en las Notas: literales d), e), f), g), h) e i), al final de este pliego tarifario.

En caso de que el consumidor residencial sea atendido a través de un transformador de su propiedad y el registro de lectura sea en baja tensión, la Empresa considerará un recargo por pérdidas de transformación equivalente a un 2% del monto total de la energía consumida.

ANEXO N° 4
EQUIPO DE MEDICIÓN

Fotómetro utilizado en la medición in – situ de los factores lumínicos involucrados



ANEXO N° 5
EJEMPLO DE PERFIL AMBIENTAL

