

## **Análisis de eficiencia energética del alumbrado público en el sector El Girón en la ciudad de Quito**

**José P. Pozo G.**

Ingeniero Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: nappster\_7@hotmail.com

Fecha de recepción: 21 de Septiembre de 2014 - Fecha de aceptación: 20 de Octubre de 2014

### **RESUMEN**

La contaminación lumínica es todo brillo del cielo nocturno causado por la dispersión difusa de la luz artificial, por ende todos y más aún las generaciones futuras tienen derecho a una tierra indemne, incluyendo un cielo puro. Partiendo de esta premisa se ha realizado un análisis de la eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado público, midiendo parámetros luminotécnicos en campo y determinados niveles de iluminación, elaborando tablas comparativas entre lo requerido y lo encontrado. Se contó con la ayuda del software de diseño Ulysse v2.3 de la empresa Schröder, y con datos de apoyo proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito. Además se calculó valores de “desperdicio” energético que arrojan un 22% de energía no aprovechada, que se traduce en costos económicos y toneladas equivalentes de petróleo, como medida de equivalencia de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera. Para dicho análisis se tomó en consideración las condiciones demográficas del sector, los factores urbanos y las posibles afectaciones, tanto para flora, fauna y seres humanos.

Palabras clave: Contaminación lumínica, alumbrado público, perfil ambiental, eficiencia energética.

### **ABSTRACT**

Light pollution is all-sky brightness caused by diffuse scattering of artificial light. On the premise that all generations have the right to unaffected land and sky an analysis was performed of the energy efficiency of public light installations, involving the measurement in situ of lighting parameters and the determination of lighting levels, preparing tables between what is required and what was measured. The research was facilitated by the design software company Ulysse v2.3 Schröder, and the data provided by the Empresa Eléctrica Quito. The study revealed the existence of energy "waste" values, being the result of 22% unutilized energy, resulting in economic and environmental costs. The latter was assessed as the equivalent to spilled oil, as to obtain a measure equivalent to the quantity of emitted greenhouse gases into the atmosphere. This analysis took into consideration the demographic conditions in the sector, urban factors and possible effects on flora, fauna and humans.

Keywords: Light pollution, public lighting, environmental profile, energy efficiency.

## **1. INTRODUCCIÓN**

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, molesta 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.

## 2. MARCO TEÓRICO

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). El espectro luminoso visible se analiza en función de su longitud de onda (o frecuencia). De esta forma se descubre que la luz blanca es la mezcla de todos los colores. El ojo humano tiene 2 receptores fotosensibles: conos, responsables de la visión del color (fotópica - luz diurna); y bastones, responsables de la visión escotópica (nocturna - a bajos niveles de intensidad). Esto quiere decir que la visión ocular, de cierta forma, se adapta a los cambios luminosos y por ende se acopla, con el tiempo, a niveles de oscuridad.

Entre otros, estos son los efectos más connotados, que se pueden apreciar como impactos de la contaminación lumínica:

- 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. Además en la flora, puede afectar el ciclo de oscuridad de la fotosíntesis.
- b) Económicos: En un análisis macro realizado por (Horts, 2006) dicta 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.
- 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. 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.
- 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. 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 una combinación perjudicial del brillo astral con el brillo artificial. 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.

Por este motivo se consideró algunas magnitudes fotométricas, las cuales cuantifican la radiación a la que es sensible el ojo humano. Las siguientes se tomaron en cuenta:

Flujo luminoso: Cantidad de luz que cae en  $1 \text{ m}^2$  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.

Intensidad luminosa (I): Flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido ( $w$ ) en una dirección concreta. Su unidad es la candela (cd).

Iluminancia/Nivel de iluminación (E): 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 ( $\text{lumen m}^{-2}$ ) (lx).

Luminancia (L): Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su unidad es el Nit ( $\text{cd m}^{-2}$ ). 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. Cabe destacar que solo vemos luminancias, NO iluminancias.

Flujo hemisférico superior (FHS): Flujo luminoso emitido por una luminaria, que “escapa” por encima del plano horizontal. El flujo hemisférico se expresa en porcentaje emitido por la

luminaria. En el caso de alumbrado peatonales, así como artísticos con faroles se sugiere un FHS instalado < 25%.

Rendimiento luminoso: 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 ( $\text{lm W}^{-1}$ ).

La cuantificación de estos factores permite caracterizar las emisiones luminosas del alumbrado público en el área de estudio. Este sitio perteneciente al barrio La Mariscal fue creado como residencial, pero debido al crecimiento urbano, se ha convertido en un centro, educativo, comercial y de servicios.

### 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

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 las actividades y funciones permisibles para este sector. Conforme la Ordenanza Municipal N° 0031 “Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS)” del DMQ, esta zona debe ser catalogada como zona de Uso Múltiple (ver artículo 13 de la norma en cuestión).

#### 3.1. Caracterización de la vía

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. La hora de análisis fue de 18h30 a 20h30 para cada caso, dado que es la hora de mayor influencia peatonal, así como vehicular.

##### Conteo de automotores

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 (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Automotores en sentido Norte - Sur.

Sector	Número de automotores		
	Automóviles	Pesados	Buses
Sentido Norte Sur (18:30-20:30)	9028	59	575
Sentido Sur - Norte (18:30-20:30)	4275	23	542

**Tabla 2.** Ocupación peatonal en la vereda oriental.

Sector	Ocupación peatonal					Total
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
Vereda oriental (18:30 - 20:30)	848	824	658	544	716	3590
Vereda occidental (18:30 - 20:30)	941	919	855	656	878	4249

##### Conteo peatonal

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 (ver Tabla 2).

Determinación de tipo de vía

Se aplica la matriz exigida por la Regulación N° 008/11 (CONELEC, 2011) para caracterizar calzadas, obteniendo los siguientes resultados:

Vía sentido Norte - Sur (vereda Occidental)  $M = (6 - \sum Vp) = 6 - 4 \rightarrow M = 2$

Vía sentido Sur - Norte (vereda Oriental)  $M = (6 - \sum Vp) = 6 - 5 \rightarrow M = 1$

Clase peatonal vereda oriental  $P = (6 - \sum Vp) = 6 - 2 \rightarrow P = 4$

donde  $Vp$  = sumatorio de los valores de ponderación de la matriz, para todos los casos.

Para la vereda occidental no se ha hecho el análisis peatonal, puesto que el alumbrado de este tipo no existe en la misma.

**3.2. Caracterización de las luminarias**

En la Tabla 3 se presenta la cantidad de luminarias por vereda. Las notadas como “dobles” se refieren a postes que tienen lámparas que iluminan tanta calzada, cuanto a la acera. Solo 2 de ellas presentan iluminación peatonal directa. La vereda occidental no presenta ninguna de este tipo.

**Tabla 3.** Cantidad de luminarias por vereda.

Vereda	Cantidad de luminarias			
	Individuales	Dobles	Funcionales	Apagadas
Vereda oriental	10	3	13	0
Vereda occidental	7	0	5	2

**3.3. Auditoría energética**

Consumo de energía eléctrica

En la Tabla 4 se muestra el consumo energético mensual, por vereda (oriental y occidental).

Vereda	Lámparas	Consumo energético				
		Horas/Día	Horas/Mes	Carga instalada (W)	Consumo balasto (W)	Consumo (Wh mes <sup>-1</sup> )
Vereda oriental	13	4	120	400	40	686400
		8	240	250	40	904800
		Total				1591200
Vereda occidental	5	4	120	400	40	264000
		8	240	250	40	348000
		Total				612000

Total consumido: 2203,2 kWh mes<sup>-1</sup>

Costo del consumo eléctrico

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).
- El cálculo del costo energético es exacto e iterativo para cada rango de consumo, conforme se propone en el Pliego Tarifario de la EEQ (ecuación 1). El valor por unidad de energía consumida sería en promedio 0,168\$ kWh<sup>-1</sup>.

$$\text{Costo} = 2203 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \rightarrow 372,02 \frac{\$}{\text{mes}} * 0,095 = 35,342 \frac{\$}{\text{mes}} \rightarrow 424,1 \frac{\$}{\text{ano}} \quad (1)$$

Costo Ambiental

*Relación de consumo de combustible*

Para medir la energía la unidad más habitual es la Tonelada Equivalente de Petróleo (Tep en castellano, Toe en inglés, ecuación 2). 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, ecuación 3) 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.

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

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

*Determinación de la huella de carbono*

La huella de carbono (ecuación 4) 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 (CO<sub>2</sub>) (Hernández, 2010).

Para convertir la información recopilada y expresarla en toneladas de CO<sub>2</sub> se utilizan factores de emisión que permiten determinar cuánto CO<sub>2</sub> 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).

$$\text{HuellaC} = 2203 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{0,0036 \text{TJ}}{1000 \text{kWh}} * \frac{92,708 \text{tonCO}_2}{\text{TJ}} = 0,735 \frac{\text{tonCO}_2}{\text{mes}} \rightarrow 8,82 \frac{\text{tonCO}_2}{\text{ano}} \quad (4)$$

Según el IPCC, para el carbón se tiene una fracción de 92,708 ton CO<sub>2</sub> por TJ. 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. Determinación de niveles de iluminación**

En la Tabla 5 se presentan los niveles de iluminación para el sector analizado (veredas occidental y oriental, respectivamente).

**Tabla 5.** Niveles de iluminación.

Vereda	Parámetro	Niveles de iluminación		
		Valor diseñado	Valor medido	Valor límite
Vereda occidental	Lmed (cd m <sup>-2</sup> )	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

**Tabla 5.** Niveles de iluminación (continuado).

Vereda	Parámetro	Niveles de iluminación		
		Valor diseñado	Valor medido	Valor límite
Vereda oriental	Lmed (cd m <sup>-2</sup> )	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

Niveles de contaminación lumínica

En el apartado 4.6.4.1 del Reglamento Técnico 069 (INEN, 2013) se tiene que para calcular el grado de contaminación lumínica enviado sobre la horizontal de una instalación de alumbrado, debe tenerse en cuenta el flujo hemisférico superior (ecuación 5):

$$\varphi_{TOTAL} = ULOR + UWLR + Kr1 + Kr2 \quad (5)$$

donde:

- $\int_{total}$  = 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.

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%, valor tomado de un estudio llevado a cabo con luminarias de alumbrado público en Padova, Italia (Cinzano, 2003). 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 (Caminos, 2011) del pavimento; Kr2 = 6% enyesado viejo y seco (Caminos, 2011) de los edificios aledaños.

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

Por tanto el valor de “desperdicio” luminoso es de aproximadamente 22%. Entonces el flujo útil se expresa de acuerdo a la ecuación 7.

$$\begin{aligned} \Phi_{util} &= \Phi_{nominal} * (1 - \varphi_{total}) \\ \Phi_{util} &= 54000lm * (1 - 0,22) = 42120lm \end{aligned} \quad (7)$$

**3.5. Rendimiento luminoso**

El rendimiento o eficacia lumínica está calculado en base al flujo luminoso útil (ecuación 8).

$$\eta = \frac{\Phi_{util}}{Potencia} \rightarrow \eta = \frac{42120lm}{400W} = 105,3 \frac{lm}{W} \quad (8)$$

Ollé (2010) recomienda un rendimiento admisible mayor o igual a 65 lm W<sup>-1</sup>. Por tanto para este parámetro las luminarias en cuestión cumplen con lo estipulado de forma relativa, tomando en cuenta que existen lámparas apagadas y otras al borde de su vida útil.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis demográfico

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 transitan 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 persona 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.

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, 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.

### 4.2. Análisis luminotécnico

Se tienen un total de 13 lámparas en la calle de estudio. Con un recorrido por el sitio se aprecia que en la vereda occidental tiene 2 lámparas apagadas, las cuales no encienden a ningún momento, se encuentran en la intersección de Mariscal Foch y 12 de Octubre la una, y la segunda en Wilson y 12 de Octubre.

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<sup>-2</sup>) 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<sup>-2</sup>) (vereda oriental), aunque no así para M2 = 1,5 (cd m<sup>-2</sup>) (vereda occidental), el cual es superado por 0,6 (cd m<sup>-2</sup>). Sin embargo hay que tomar en cuenta que para 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.

### 4.3. Análisis ambiental

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 424 dólares anuales, 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 CO<sub>2</sub> 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.

En consecuencia, los costos involucrados en el desperdicio son de aproximadamente \$93 dólares de la facturación anual 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 una valor de 100 por barril, el precio al cual oscila actualmente. A pesar que no parecen representativos, 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.

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).

## 5. 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 \$93 dólares anuales 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 estas 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 o más altos, o que vuelvan a ser ocupados como residenciales.

Las lámparas (Schröder Ambar 3<sup>1</sup>) de la vereda oriental cumplen con los valores de luminancia adecuados ( $1,6 \leq 2 \text{ cd m}^{-2}$ ), en tanto que las de la vereda occidental los exceden ( $2,1 \leq 1,5 \text{ cd m}^{-2}$ ). 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 es aceptable, aunque no se lo puede comparar con ninguna normativa oficial, sino solo con las recomendaciones de (Ollé, 2010) la cual es de  $65 \text{ lm W}^{-1}$ .

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 CO<sub>2</sub>. Esto lo convierte en un precursor/generador de gases de efecto invernadero (GEI).

El mantenimiento de las lámparas (algunas apagadas), así como de los árboles presentes, cuyas copas tapan el campo de iluminación de ciertas luminarias, no todas, influyen en la medición de los

---

<sup>1</sup> <http://www.schreder.com/SiteCollectionDocuments/Products/Ambar/AMBAR-3-Product-Environmental-Profile-V1.pdf>



factores lumínicos tomados en cuenta. Este inconveniente no ha sido tomado en cuenta por las autoridades pertinentes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte de la Tesis de pregrado que lleva el mismo nombre del artículo, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Mi gratitud al Ing. César Narváez, por ser director de este proyecto y al Ing. Luis Tapia por sus consejos en la elaboración del mismo. Así mismo al Ing. Edwin Recalde, como Jefe del Departamento de Alumbrado Público de la EEQ, que estuvo presto a brindar información pertinente para la realización de la investigación.

## REFERENCIAS

- Assaf, L., 2012. Visión Humana como base del diseño de iluminación, INER. Disponible en [http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/07\\_02\\_Conferencia\\_Assaf1.pdf](http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/07_02_Conferencia_Assaf1.pdf).
- Caminos, J., 2011. *Criterios de diseño en iluminación y color*. Santa Fe, edUTecNe.
- CIE, 2006. *Road lighting calculations* (CIE 140 - 2000), Viena, HIS.
- Cinzano, P., 2003. *Ligth pollution by luminaires in roadway lighting* (CIE TC4-21). Padova, ISTIL.
- CONELEC, 2011. *Prestación del servicio de alumbrado público general* (Regulación N°. CONELEC – 008/11), Quito, CONELEC.
- Empresa Eléctrica Quito, 2009. Instructivo para trabajos del taller de Alumbrado Público. Disponible en <http://www.eeq.com.ec/upload/normas/17.pdf>.
- Hernández, J., 2010. *Ahorro de la energía y la contaminación lumínica*. Tesis, 2010, México D.F.
- Horts, P., 2006. ¿Quién nos ha robado la vía láctea? Disponible en <http://www.iac.es/proyecto/otpc/ph/contam.php>
- INEN, 2013. *Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”*. Quito, MIPRO.
- International Astronomical Union, 2014. Controlling light pollution, IAU. Disponible en [http://www.iau.org/public/themes/light\\_pollution/](http://www.iau.org/public/themes/light_pollution/).
- Ollé, J., 2010. *Descontaminación lumínica y máxima eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado exterior 2ª parte*. XXXVI Simposium Nacional de Alumbrado.