

**OPTIMIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PARQUES CONFORME A LA
NORMA RTE INEN 069 BASADO EN RESTRICCIONES FOTOMÉTRICAS**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
OPTIMIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PARQUES CONFORME A LA
NORMA RTE INEN 069 BASADO EN RESTRICCIONES FOTOMÉTRICAS**

**AUTOR:
JUAN FRANCISCO MORA FREIRE**

**TUTOR:
SILVANA FABIOLA VARELA CHAMORRO**

Quito, agosto 2018

Juan Francisco Mora Freire

OPTIMIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PARQUES CONFORME A LA NORMA RTE INEN 069 BASADO EN RESTRICCIONES FOTOMÉTRICAS.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2018

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña de autores e información de contacto:



Juan Francisco Mora Freire (Y'1987-M'03). Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Vida Nueva, obtuvo su título en técnico industrial especialización electrónica. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la optimización de iluminación de parques conforme a la norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas, representado por su trabajo de titulación.

jmorafr@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Silvana Fabiola Varela Chamorro (Y'1975-M'02), Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2001 y de Máster en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Morelia. Actualmente se encuentra trabajando como docente en la Universidad Politécnica Salesiana. Áreas de interés: Transitorios Eléctricos, Sistemas de Distribución.

svarela@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2018 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Silvana Fabiola Varela Chamorro, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *“Optimización de iluminación de parques conforme a la Norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas”*, realizado por Juan Francisco Mora Freire obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto 2018



.....
Ing. Silvana Fabiola Varela Chamorro

CI. 1713565818

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Juan Francisco Mora Freire, con documento de identificación N° 1718577172 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “Optimización de iluminación de parques conforme a la Norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....
Nombre: Juan Francisco Mora Freire

Cedula: 1718577172

Fecha: Quito, agosto 2018

INDICE GENERAL

1.	Introducción	2
1.1	Fotometría	2
1.2	Leyes de la Luminotecnia.....	5
1.3	Normativas de Tratamiento de Iluminación	6
2.	Diseño de alumbrado	7
2.1	Métodos de Cálculo de Iluminancia	8
2.1.1.	Método del factor de utilización o flujo total.....	8
2.1.2.	Método numérico o de los nueve puntos	10
2.1.3.	Método Analítico	10
3.	Cálculo y simulación	11
4.	Análisis de Resultados	13
5.	Conclusiones	14
6.	Bibliografía	14
7.	Estado de Arte	17

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ángulo sólido Ω [5].	3
Figura 2.	Superficie aparente [8].	3
Figura 3.	Curvas isolux [6].	5
Figura 4.	Relación fuente – distancia [14].	5
Figura 5.	Ley de coseno [6].	6
Figura 6.	Ley de coseno cubo [10].	6
Figura 7.	Datos de alumbrado exterior [8].	8
Figura 8.	Gráfica de relación η vs A/H [14].	9
Figura 9.	Esquema de la vía [14].	9
Figura 10.	Distribución de los nueve puntos.	10
Figura 11.	Sobre posición de la curva isolux en los nueve puntos.	10
Figura 12.	Ángulo de radiación	11
Figura 13.	Punto máximo iluminancia	13

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Ondas Electromagnéticas del Espectro Visible [2].	2
Tabla 2.	Iluminancia Natural [10].	4
Tabla 3.	Iluminancia Artificial Promedio [11].	4
Tabla 4.	Solvers de GAMS.....	12
Tabla 5.	Matriz de Iluminancia	13
Tabla 6.	Matriz del Estado del Arte.....	17
Tabla 7.	Resumen e Indicadores del Estado del Arte	18

OPTIMIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PARQUES CONFORME A LA NORMA RTE INEN 069 BASADO EN RESTRICCIONES FOTOMÉTRICA

Resumen

Con la creación de la electricidad y de su aplicación industrial en la iluminación de sectores públicos y privados, la presencia de la luz en un ambiente nocturno es un elemento de gran importancia para todo el Ecuador, el cual se rige por el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. El principal objetivo de esta investigación es optimizar la iluminación de parques conforme a la norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométricas. Para la realización de optimización de la iluminación se tendrá en cuenta diferentes criterios de distintas áreas, además de la regulación de algunos fabricantes de focos como es Phillips. Por otra parte, se desarrollan programas de cálculo de iluminación que usa la base de datos de productos para garantizar la selección de los mismos para los proyectos urbanos. El resultado de la optimización se tiene a partir de los cálculos realizados por Calculux, que hace el reconocimiento para establecer un alumbrado público a través de una matriz de iluminancia y se hace una simulación con GAMS que muestra determinados parámetros que se relacionan con la altura máxima del montaje de luminaria muestra una optimización de la iluminación de las camineras de cualquier parque, cumpliendo así las normas de INEN, sobre la cual se rigen los parámetros de iluminancias promedios en Ecuador.

Palabras clave: fotometría, alumbrado público, iluminación, luminaria.

Abstract

With the creation of electricity and of his industrial application in the lighting of public and private sectors, the presence of light in a night environment is an element of great importance for the whole of Ecuador, which is governed by the Ecuadorian Standardization Service INEN. The main objective of this research is to optimize park lighting in accordance with the RTE INEN 069 standard based on photometric restrictions. In order to optimize the lighting, different criteria from different areas will be taken into account, in addition to the regulation of some spotlight manufacturers such as Phillips. On the other hand, lighting calculation programs are developed using the product database to ensure product selection o for urban projects. The result of the optimization is based on the calculations made by Calculux, which makes the recognition to establish a public lighting through an illuminance matrix and a simulation is made with GAMS that shows certain parameters that are related to the maximum height of the lighting assembly shows an optimization of the lighting of the roads of any park, thus complying with INEN standards, on which the average illuminance parameters are governed in Ecuador.

Keywords: photometry, street lighting, illuminance, luminaire.

1. Introducción

La optimización de la iluminación es un proceso que se enfoca en mejorar la visualización, la cual se realiza por medio del uso de una forma adecuada tanto de la luz, como de los materiales con los que están hechas las fuentes de luz. Ante la problemática de determinar cómo optimizar la iluminación de parques conforme a la Norma RTE INEN 069 basado en restricciones fotométrica se hace necesario el conocimiento de los siguientes conceptos:

1.1 Fotometría

Es la parte de la óptica que estudia las características de las fuentes luminosas, así como los efectos que la producen. La misma emiten energía y a su vez un aumento de temperatura, por lo que se generan emisiones térmicas. Las emisiones térmicas poseen una relación con la producción de la luz y de acuerdo a la cantidad de energía produce diversas longitudes de onda, las cuales provocan una zona visible denominada espectro electromagnético visible [1].

Espectro electromagnético visible: es una gama de frecuencias cuyas longitudes de onda pueden ser percibidas por el ojo de las personas. El termino visible en física define un amplio rango de radiación y frecuencias, las cuales generan luz e incluyen un amplio espectro del cual forman para el espectro visible [2].

La denominación espectro hace referencia al efecto de dispersión de la luz blanca cuando pasa por un prisma produciendo una infinidad de longitudes de onda. Las que a su vez generan una gama de colores denominado arco iris de forma continua.

Longitud de Onda: es la distancia que existe entre dos puntos continuos que

están en el mismo fenómeno periódico o en estado de aceleración, vibración, velocidad y elongación. Su símbolo es la letra griega λ (lambda) la cual se puede expresar en unidades de longitud (m) [3].

La luz se forma por la variación de frecuencias, se trata de un efecto modulador y depende de la longitud de onda. En el ámbito luminoso las longitudes de onda definen la luminiscencia y tipi de la luz [4].

La relación entre la frecuencia electromagnética y la longitud de onda es:

$$\lambda = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Siendo el nanómetro (nm) la unidad de medida de longitud de onda. Algunos ejemplos de la longitud de onda para el campo visible de colores es [5]:

Tabla 1. Ondas Electromagnéticas del Espectro Visible [2]

COLOR	λ	F
Violeta	380-450 nm	668-789 THz
Azul	450-495 nm	606-668 THz
Verde	495-570 nm	526-606 THz
Amarillo	570-590 nm	508-526 THz
Naranja	590-620 nm	484-508 THz
Rojo	620-750 nm	400-484 THz

Flujo Luminoso: Se define como la cantidad de energía luminosa emitida la cual es emitida por una fuente de luz varias direcciones por unidad de tiempo [3].

Conociendo que la unidad es el lumen (lm) y su símbolo es ϕ [3]. Su expresión viene dada por:

$$\phi_L = \frac{dQ_L}{dt} \quad (lm) \quad (2)$$

Siendo:

ϕ_L Flujo Luminoso (lm).

$\frac{dQ_L}{dt}$ Cantidad de energía luminosa radiada por unidad de tiempo.

Intensidad luminosa: Es la cantidad de luz emitida por una fuente puntiforme

que se propaga en una determinada dirección en un cono de ángulo sólido [6].

El ángulo sólido (Ω), está conformado entre el centro de una esfera y la superficie exterior de la misma en base a un radio unitario.

El símbolo de la intensidad luminosa I , la unidad de medida es candela (cd).

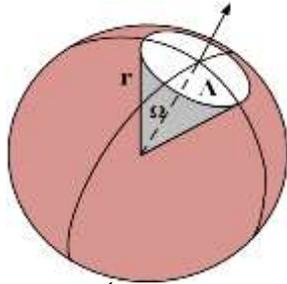


Figura 1. Ángulo sólido Ω [5]

Su expresión matemática es la siguiente:

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (3)$$

Siendo:

- I Intensidad luminosa (cd).
- $d\phi$ Diferencial del flujo luminoso (lm).
- $d\Omega$ Diferencial del ángulo sólido.

Esta fórmula se puede simplificar de

las siguientes expresiones matemáticas:

$$I = \frac{\phi_L}{\omega} \quad (4)$$

Siendo:

- ϕ_L Flujo luminoso (lm).
- ω Ángulo sólido (sr).

Illuminancia: Es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie la cual contiene el punto por el área de esa fuente [7].

Está representada por E y su expresión matemática es:

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (5)$$

Siendo:

- r La distancia de la fuente a punto de incidencia.

El lux (lx) es la unidad de medida de la iluminancia, que equivale a un lumen por metro cuadrado.

1 lux = 1 lumen / metro² = 0.0001 phot
1 phot = 1 lumen / centímetro² = 10000 lúmenes / metro² = 10000 lux

Luminancia: Esta magnitud se define como la cantidad de luz que el ojo humano puede percibir de una superficie iluminada, la cual se puede producir de una fuente primaria o superficie reflejante o superficie aparente.

Se puede calcular multiplicando la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad [8].

Está representada por L , la unidad de medida es candela/m² (cd/m²).

Su expresión matemática se define:

$$L = \frac{I}{S_\alpha} = \frac{I}{S \cos \alpha} \quad (6)$$

Siendo:

- I Intensidad luminosa
- S_α Superficie aparente
- α Ángulo entre superficie real y la aparente.

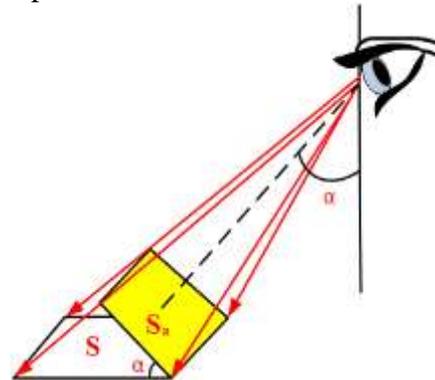


Figura 2. Superficie aparente [8]

Niveles Illuminancia: es una escala de iluminancias determinadas por el ser humano con el fin de poder realizar actividades de cierto tipo en distintos ambientes. Las iluminancias se han definido por su origen en dos tipos, las naturales, cuyas fuentes no son generadas por los humanos y las

artificiales que provienen de fuentes desarrolladas por el ser humano [9].

Los niveles de iluminancia son valores establecidos por los constructores y diseñadores de las fuentes iluminación artificiales como lámparas de cualquier tipo.

La siguiente tabla presenta los niveles más comunes de iluminancia.

Tabla 2. Iluminancia Natural [10]

Condiciones	Iluminancia (lx)
Luz del sol	107527
Luz del día	10752
Día nublado	1075
Día oscuro	107
Crepúsculo	10,7
Crepúsculo profundo	1,07
Luna llena	0,107
Luna creciente	0,0107
Luz de estrellas	0,00107
Noche nublada	0,000107

Tabla 3. Iluminancia Artificial Promedio [11]

	Mínimo (lx)	Óptimo (lx)	Máximo (lx)
Vivienda			
Dormitorio	100	150	200
Cuarto de aseo	100	150	200
Cuarto de estar	200	300	500
Cocina	100	150	200
Cuarto de trabajo o estudio	300	500	750
Zonas generales de edificios			
Zona de circulación y pasillo	50	100	150
Escalera, ropero, lavabo, almacén y archivo	100	150	200
Centros docentes			
Aula y laboratorio	300	400	500
Biblioteca y salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas, mecanografía, salas de proceso, conferencia	450	500	750

Grande oficina, CAE, CAM, CAD	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, muestras	500	750	1000
Industria			
Trabajo con requerimiento visual limitada	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
Vías			
De circulación ocasional	25	37,5	50
De circulación habitual	50	75	100
Canchas	30	50	70
Plazas y plazoletas	20	30	50
Pasos peatonales subterráneos	20	30	50
Puentes peatonales	10	20	30
Zona peatonal baja y alledaña a puente peatonal y vehicular	10	20	30
Anden, sendero, paseo y alameda peatonal en parques			
Ciclo – rutas en parques	10	20	30
Ciclo – ruta, sendero, paseo, alameda y demás áreas peatonal adyacente a rodas de ríos, quebrada, humedales,	5	10	20

canales y demás áreas distantes de vías vehicular iluminada u otro tipo de áreas iluminada			
--	--	--	--

Fuente: Propuesta de normativa de iluminación para zonas recreativas y deportivas de la ciudad de Quito, realizando un estudio técnico-económico con la situación actual [11].

Eficiencia luminosa: es el resultado del flujo luminoso producido entre la lámpara y la potencia eléctrica consumida, la cual está definida con las características técnicas de las lámparas [8]. El símbolo de la eficiencia luminosa es η y su expresión matemática es:

$$\eta = \frac{\phi}{P_e} \quad (7)$$

Siendo:

η Eficiencia luminosa (lm/watt)

P_e Potencia eléctrica (watts)

Deslumbramiento: es un fenómeno visual que causa molestia disminuyendo la capacidad óptica que permite distinguir objetos. El mismo sucede por varias razones, siendo estas: la distribución inadecuada del escalonamiento de luminancias, por las fuentes de luz a consecuencia de los excesivos contrastes en el espacio o en el tiempo [12].

Este fenómeno ejerce sobre la retina del ojo, la cual genera una enérgica reacción fotoquímica, debilitándola durante un lapso de tiempo y luego vuelve a recuperarse.

Gráficas Isolux: son curvas que representan la unión de los puntos del plano que tienen el mismo valor de iluminación. Estas gráficas están compuestas por dos tipos de curvas, la horizontal que es la relación de D/H , donde D es la separación frontal del área iluminada y H es la altura a la que está ubicada la lámpara; y la vertical que es la relación L/H , donde L es de ancho de la

calle iluminada y H es la altura de la lámpara [13].

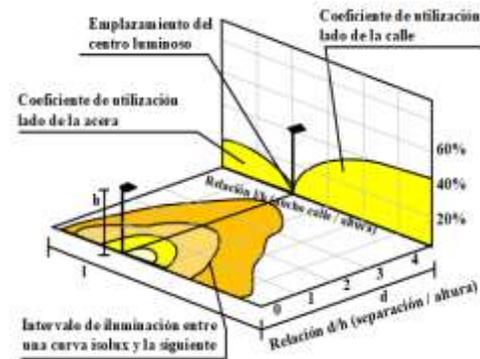


Figura 3. Curvas isolux [6]

1.2 Leyes de la Luminotecnia

Ley de los cuadrados inversos: se enfoca en la relación de la intensidad luminosa y la iluminancia. Define que la iluminancia en un punto de la superficie se encuentra directamente proporcional a la intensidad luminosa que incide en el mismo, pero inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa al punto de la fuente o radio[3]. Al utilizar la ecuación 4 se puede representar la siguiente imagen:

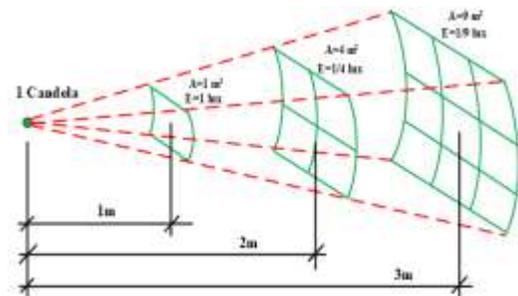


Figura 4. Relación fuente – distancia [14]

Ley del coseno: hace referencia al área que subtiende el haz luminoso cuando esta se encuentra inclinada a cierto ángulo, por lo que es mayor si estuviese vertical u horizontal. Por lo tanto, la iluminancia final es el efecto de la iluminancia normal que es proporcional al coseno del ángulo [15].

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \theta \quad (8)$$

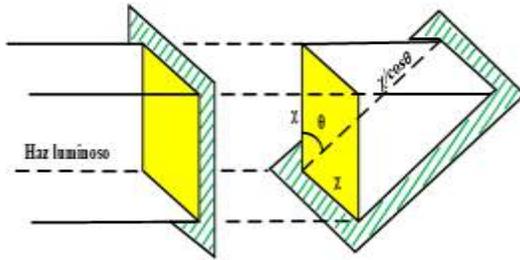


Figura 5. Ley de coseno [6]

Ley del coseno cubo: es una variación de la ley anterior, por la razón de que el radio r es la relación de la vertical h o altura y el ángulo de incidencia θ .

Entonces:

$$r = \frac{h}{\cos \theta} \quad (9)$$

Por lo tanto, la ecuación de la ley de coseno se transforma en:

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^2 \theta \quad (10)$$

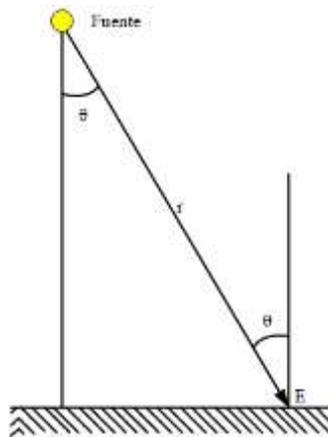


Figura 6. Ley de coseno cubo [10]

1.3 Normativas de Tratamiento de Iluminación

ISO8995/CIE S 012: 2012. Esta norma trata aspectos energéticos que permiten la interconexión de luminarias tanto internas como externas.

Las conexiones y posicionamiento espacial a las que se hace referencia son las de tipo subterránea con el fin de evitar

pérdida energética por calentamiento y elongación. Además, se enfoca en el principio de conservación del medio ambiente definiendo estrategias que permiten la optimización de luz en las instalaciones públicas [9].

UNE 12464.1. Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.

Esta normativa europea se enfoca en el ahorro energético proponiendo niveles estandarizados de iluminación interior logrando reducir el consumo energético hasta un 22% y logrando un ahorro económico [16].

UNE -EN-13032: Luz y alumbrado.

Definen las formas de iluminación con el aspecto de reducción y optimización de energía luminosa de carreteras, parque y lugares públicos en Europa. El propósito general de la misma es minimizar los costos energéticos logrando un ahorro superior al 25 % de energía [17].

UNE - EN 12464-2:2013. Iluminación de los lugares de trabajo.

Parte 1:

Lugares de trabajo en exteriores.

Esta norma establece requisitos para la iluminación de tareas en una mayor parte de los puestos de trabajo en exteriores, en términos de calidad y cantidad de iluminación. El cumplimiento de los requisitos satisface las prestaciones visuales y necesidades de confort. En concreto, aparecen valores recomendados de iluminancia para ciertas actividades, así como, los límites del deslumbramiento [5].

ITC-BT-09: Guía técnica de aplicación instalaciones de alumbrado exterior [18].

Esta guía se basa en artículos técnicos que facilitan la determinación del tipo de instalaciones tanto de alta como de baja tensión en el alumbrado de carreteras, parques y plazas.

Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-030-ENER-2016 [19]. Esta norma se enfoca en el análisis de las lámparas led, sus limitaciones y pruebas, con el fin de realizar una optimización de la vida útil de la lámpara y el consumo energético que esta recibe.

Normas RTE INEN 069. En Ecuador el alumbrado público se rige bajo las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), que emite el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) INEN 069 [20], el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), con la Regulación 005/14 de Prestación del Servicio de Alumbrado Público [21]. Las dos normativas tienen la supervisión del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), entre ambas se puede hallar lo relacionado con el alumbrado de plazas y parques decorándolos de manera eficiente.

Partiendo de estas normativas se desarrolla la propuesta antedicha en este artículo, enfocándose en la necesidad de fijar niveles de iluminación eficiente en sitios específicos que se encuentran dentro de parques. Además, especifica que se debe estimar y analizar sobre la eficiencia energética y luminosa del alumbrado en los parques, basado en lo que se plantea:

“Actualmente los dispositivos que funcionan con baja eficiencia energética, pueden ser mejorados en tres aspectos fundamentales y sin destruir nuestro entorno, entre ellos; la optimización de la energía, la reutilización de energía circundante y la preservación del medio ambiente en su estado natural” [22].

2. Diseño de alumbrado

El objetivo del diseño del alumbrado de los parques es brindar confort, seguridad y eficiencia energética de las luminarias.

Para ello se debe tener en cuenta que el alumbrado debe ser funcional en los parques, vías dentro de los mismos y en las aceras que los circunscriben. Es necesario mencionar que el alumbrado de los parques puede ser de dos tipos, alumbrado decorativo o ambiental y el alumbrado de las vías [23].

El diseño de la iluminación direccionado en áreas específicas las cuales se encuentran en zonas de descanso como parques y plazas públicas se debe efectuar de acuerdo a las condiciones específicas y necesidades lumínicas de los mismo. Este artículo se enfocará en normas y criterios que se utilizan actualmente para definir requisitos y valores para un parque en general sin importar su arquitectura específica [11], [24].

- a) *Instalación de Luminarias:* Por ser un caso general es imposible identificar cual será el orden de las luminarias dentro de un parque, ya que no se conoce datos arquitectónicos ni estructurales, pero se trata de concebir la iluminación de diversos puntos con el fin de cubrir ciertas áreas logrando una óptima iluminación para el desarrollo de cualquier actividad.
- b) *Instalación de Luminarias en el Suelo:* estas luminarias pueden estar empotradas en el suelo directamente si están sobre el concreto, o pueden estar superpuestas sobre zonas periféricas de las vías cercas a los jardines del parque. Este tipo de instalaciones deben estar definidas con mucho cuidado y proyección pues se debe evaluar los siguientes criterios: lugares de instalación, tipo de protección de lumbrreras, tiempo de vida de las lumbrreras, entre otras.

c) *Espacio – Ambiente:* En zonas donde existe la presencia de árboles, se debe tener mucha precaución con la instalación de luminarias, pues los mismo llegan a obstruir el flujo luminoso; impidiendo alcanzar los niveles de iluminancia considerados en el diseño [11].

d) *Clases de Iluminación:* Los niveles promedio de iluminación están relacionados con las características usuales las cuales se puede encontrar en las vías, deportivas, recreativas y decorativas [11].

Como datos generales según las normativas de la regulación del CONELEC 005/14, los niveles de uniformidad general deben superar consecuentemente el 40%, en la propuesta, algunos de los valores asignados se exige una uniformidad general superior al 45% [21], [11].

Los valores promedio de iluminación y uniformidad general asignados a cada clasificación se muestran en la tabla 2 [11]. La conclusión se hizo en base al previo análisis de un conjunto de criterios obtenidos de las normas CIE, NTC 900, IES, INEN 069 y CONELEC 005/14 [21], [20].

2.1 Métodos de Cálculo de Iluminancia

2.1.1. Método del factor de utilización o flujo total

Este método permite realizar una aproximación del alumbrado exterior. Para efectuar el análisis con el método del flujo total se debe usar los siguientes datos que se muestran en la figura 7 [25].

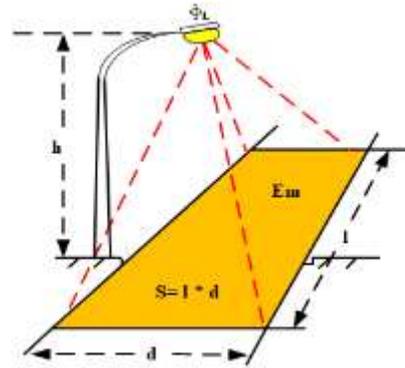


Figura 7. Datos de alumbrado exterior [8]

Siendo:

h	Altura
S	Superficie iluminada
l	Ancho de la vía
d	Largo del área iluminada
E_m	Iluminancia media
φ_L	Flujo luminoso de la lámpara

Para efectuar el proceso, se debe calcular la iluminancia media del área S que se va a iluminar, a fin de determinar las distancias entre luminarias y las alturas ideales (l/h), usando la siguiente expresión matemática.

$$E_m = \frac{\varphi_L * \eta * f_m}{S} \quad (11)$$

La expresión matemática anterior sirve para calcular el flujo luminoso total de una luminaria, pero de forma específica en un punto con la expresión:

$$\varphi_L = \frac{E_m S}{\eta f_m} \quad (12)$$

El valor del flujo depende de varios factores que son variables, siendo estos la iluminancia, la superficie, factor de mantenimiento y el factor de utilización.

Por consiguiente, lo primero que se debe definir son los valores de iluminancia que se usarán para un punto exacto. En un solo punto la iluminancia es el resultado de la sumatoria de las iluminancias adyacentes o de luminarias cercanas.

Entonces:

$$E = \sum_1^n E_i \quad (13)$$

Siendo:

E_i Iluminancia de luminaria específica.

Con esta última variable se puede evaluar el valor promedio de cierta área para definir el promedio resultante de la iluminancia de esa zona. Este valor se puede determinar de las curvas Isolux que se presentan exclusivas provistas por análisis de laboratorio de los fabricantes de las mismas.

Antes de esto se debe determinar el factor de utilización por medio de la relación l/h .

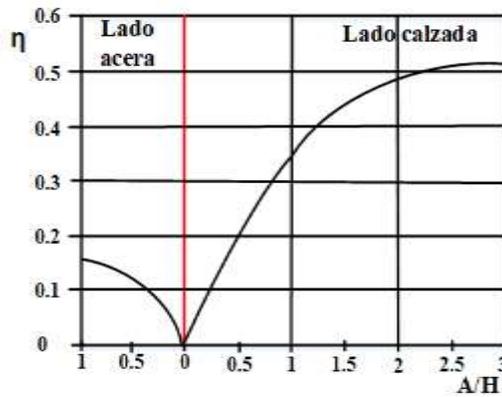


Figura 8. Gráfica de relación η vs A/H [14]

El Esquema de la vía es la que se visualiza en la figura 9.

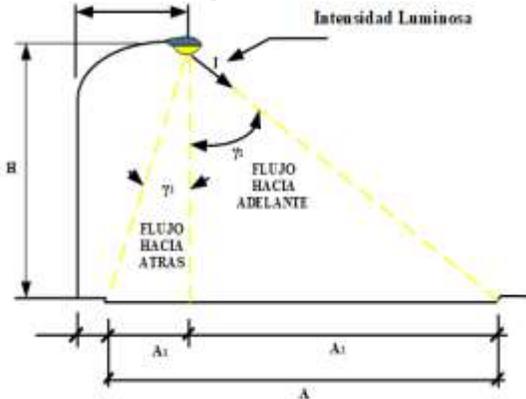


Figura 9. Esquema de la vía [14]

En la figura 9 se muestra el valor A como el ancho de la calzada y este valor puede variar según las estipulaciones gubernamentales y administrativas locales del parque, por lo que es un valor cambiante. Además, si A es una variable también lo son A_1 , A_2 , siendo estas variables los anchos complementarios en los que se divide la calle según la ubicación de la luminaria.

Otro valor desconocido hasta el momento es la altura de la luminaria H .

Con estos valores se consigue definir las relaciones de calzada y altura para hallar el factor de utilización referenciales (η_1 , η_2) y luego el factor de utilización total (η), tal como se muestra a continuación.

$$\frac{A_1}{H} = \eta_1 \quad (14)$$

$$\frac{A_2}{H} = \eta_2 \quad (15)$$

Después de haber encontrado estas relaciones se hace uso de la tabla relacional de A/H , para saber el factor de utilización para los valores de η_1 y η_2 .

De lo anterior se obtiene el factor de utilización total, siendo este:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (16)$$

Con esos valores preestablecidos se procede a determinar el flujo luminoso. Tomando en cuenta que el valor del factor de mantenimiento es de 0,8 ya que se recomienda que no sea superior a dicho valor especificado, por lo que va a constituir el máximo al tratarse de luminarias de fábrica. Luego se puede hallar el valor de la iluminancia o el flujo luminoso en un solo punto específico.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que la iluminancia de una zona es el resultado de la sumatoria de las iluminancias parciales o puntuales y esta depende del ángulo γ de movimiento, vertical y del ángulo horizontal C_p .

Se debe considerar que la luminosidad no es un parámetro uniforme o en todas las áreas la misma, por ello se deben tener en cuenta las curvas isolux que permiten tener una mejor visión de cómo se distribuye la luminosidad en las distintas áreas de enfoque de la luminaria.

Por ello, se puede notar que se requiere efectuar una evolución de los diversos datos que se requieren para el cálculo del flujo. Los valores más relevantes son:

- La altura de la lumbrera.
- El ancho de la vía incluidas sus aceras en el parque.
- La distancia entre lumbreras.
- Los factores de mantenimiento.
- Los factores de utilización.

2.1.2. Método numérico o de los nueve puntos

Este método se enfoca en determinar las iluminancias por áreas más pequeñas en una zona amplia que se ilumina por una lámpara. Estas zonas se le denomina zonas adyacentes a la luminaria. Para el caso específico de este método se divide en nueve áreas. Dichas áreas son superpuestas sobre la gráfica de curvas isolux de una lámpara ideal de 1000 lm a 1m de altura, definidas por un fabricante de acuerdo con las condiciones de experimentales de la luminaria [27].

Las intersecciones de las líneas de las áreas y las de la gráfica isolux permiten definir las iluminancias de las áreas parciales para luego hallar las iluminancias promedio que será el resultado de la sumatoria de las iluminancias sectoriales.

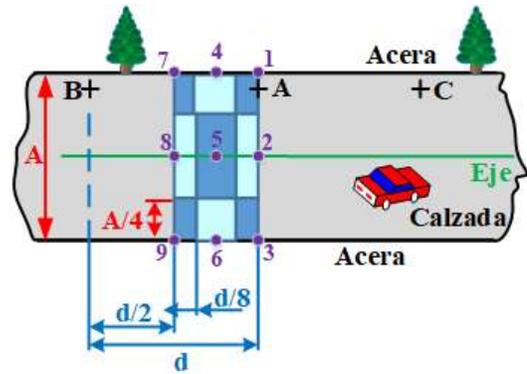


Figura 10. Distribución de los nueve puntos.

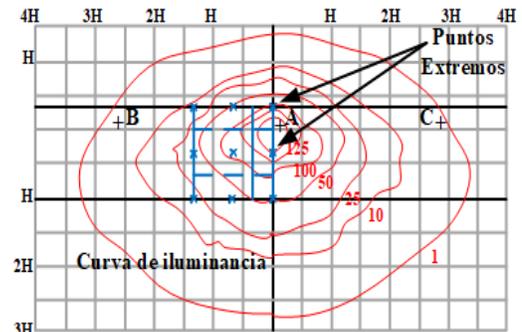


Figura 11. Sobre posición de la curva isolux en los nueve puntos.

La expresión matemática que determina la iluminancia media por medio de este método es:

$$E_m = \frac{E_1 S_1 + E_2 S_2 + \dots + E_9 S_9}{S_1 + S_2 + \dots + S_9} \quad (17)$$

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^9 E_i S_i}{\sum_{i=1}^9 S_i} \quad (18)$$

Según se observa en la figura 10, al área adyacente de la lumbrera A conjugan los efectos de las lumbreras aledañas B y C, por lo que la iluminancia del sector A es:

$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC} \quad (19)$$

Siendo:

E_i Iluminancia total en un punto dentro del área de la luminaria A.

E_{iA} Iluminancia media total de la luminaria A.

2.1.3. Método Analítico

Este método permite realizar el cálculo analítico de la iluminancia por

medio de uso de datos que se observan en la figura 12, donde intervienen la intensidad luminosa de la fuente (**I**), el ángulo horizontal (**C**) y vertical (γ) [28].

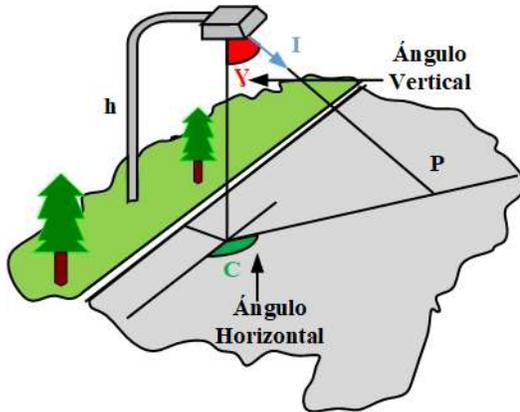


Figura 12. Ángulo de radiación

Tomando en cuenta los datos la formulación matemática que expresan la relación de magnitudes en:

$$E_i = \frac{I_p(C_p, \gamma_p) * \cos^3 \gamma_p}{h^2} \quad (20)$$

$$E_p = \frac{\sum E_n}{N} \quad (21)$$

Siendo:

E_i	Illuminancia en un punto
I_p	Intensidad luminosa en un punto
C_p	Ángulo horizontal
γ_p	Ángulo vertical
E_p	Illuminancia total
N	El número de puntos

Después de analizar varios conceptos, métodos y normativas importantes que pueden usarse para determinar las iluminancias en áreas exteriores, se procede a efectuar el proceso demostrativo y simulado de cierto tipo de lámpara para los parques en base a la gestión del simulador GAMS (Sistema General de Modelado Algebraico, por sus siglas en inglés). Luego se realiza la comparación de los datos en el programa CALCULUX de la

empresa Philips, con el cual se calcula la matriz de iluminancia en una superficie definida y de lumbrera [29].

3. Cálculo y simulación

Para el desarrollo de la optimización se procede a utilizar el método analítico como base de cálculo y su respectiva fórmula como función objetivo, por lo que se inicia definiendo las variables que intervienen en el proceso.

Función objetivo:

$$E_i = \frac{I_p(C_p, \gamma_p) * \cos^3 \gamma_p}{h^2}$$

La altura (**H**) es una variable que depende de las normas administrativas locales, nacionales e internacionales, además, de los propios parámetros de construcción y diseño arquitectónico que ofrecen los fabricantes. Tomando los datos mostrados en la tabla 2, seleccionando los valores para la iluminación de senderos, andenes, alamedas y paseos peatonales en parques, mínimo: 5 lx, óptimo: 10 lx, y máximo: 20 lx.

La iluminancia (**E**) es la variable que se debe conocer para determinar un tipo de lumbrera que permita garantizar la óptima solución de iluminación en los parques. También cabe mencionar que la misma debe estar de acuerdo a las normativas RTE 069 y cumplir con las restricciones al caso [3].

Se toma en cuenta que si se usa el método analítico las variables restrictivas de la función objeto son los ángulos horizontales y verticales. De esta manera se debe optimizar la mejor opción de iluminancia promedio en cuanto a restricciones que se estiman como las más óptimas [20]:

$$0^\circ \leq C_p \leq 360^\circ$$

$$0^\circ \leq \gamma_p \leq 90^\circ$$

Reconociendo todas las limitantes y restricciones establecidas por el estándar

de iluminación nacional e internacional se puede indicar los siguientes valores como constantes:

- Altura de poste: 7,2 m.
- Cantidad de poste para evaluar: 1.
- Área de estudio: 10m x 10m.
- Ubicación del foco: Centro del área.

Para realizar la optimización de la altura por medio del modelo analítico y matemático, se procede a efectuar una generación de datos por medio de un simulador con otro software especializado. El CALCULUX con el que se efectúa un cálculo de una lumbrera y se calcula la matriz de iluminancia en una superficie definida.

La simulación en CALCULUX se realiza de la siguiente forma:

Entorno: Generar un proyecto.

Algoritmo: Agregar un campo de aplicación con dimensiones 10 m de ancho y 10 m de longitud.

Seleccionar las luminarias.

Tomar de la base de datos la lámpara modelo BGP760 de Philips, con 1000 lúmenes.

Establecer la disposición individual del poste. Coordenadas: $x=0$, $y=0$, $z=7.2$

Generar el cálculo de la matriz incluyendo gráficas y figuras.

Imprimir el informe.

FinPrograma

Una vez que se han obtenido los resultados del CALCULUX se procede a iniciar el programa GAMS.

GAMS contiene diferentes algoritmos de resolución de problemas de programación lineal, no lineal, entera y cuadrática. Algunos de los solvers (solucionadores) que contiene GAMS se enumeran en la tabla 4. Muchos desarrolladores han utilizado el solver denominado “MINOS”, el cual es un algoritmo que está diseñado para resolver

problemas a larga escala de optimización utilizando el método de gradiente reducido para restricciones y funciones objetivas no lineales, dicho solver utiliza el algoritmo lagrangiano aumentado [30]. Además de lo citado en la literatura técnica revisada, se ha podido constatar el uso de solver en varias investigaciones.

Tabla 4. Solvers de GAMS

Problemas Solver
PNL, CONOPT, MINOS,...
PL OSL, CPLEX, MINOS, BDMLP, XA, ...
MIP OSL, ZOOM CPELX, XA
MINLP DICOPT

A fin de realizar una matriz comparativa entre el CALCULUX y el GAMS, en este último se desarrolla un algoritmo que genera una matriz de puntos de análisis con las mismas dimensiones utilizadas en CALCULUX. El procedimiento de codificación es el siguiente:

Algoritmo de resolución

Paso 1: introducir valores de escalares, índices y parámetros del sistema.

Paso 2: definir la malla de puntos con una matriz.

Paso 3: establecer la ubicación de las luminarias.

Paso 4: Calcular matriz de ángulos horizontales (C) y verticales (γ).

Paso 5: calcular matriz de iluminancia individual de cada lámpara.

Paso 6: obtener la matriz de iluminancia total.

Paso 7: realizar los cálculos de iluminancia basado en los datos iniciales.

Paso 8: comparar la iluminancia máxima de la matriz según la normativa RTE 069 de la INEN.

Paso 9: Visualización de los resultados.

El resultado obtenido de GAMS se encuentra como anexo, donde se aprecia la comparación con el resultado obtenido de aplicar el método analítico de GAMS con el conjunto de cálculos basado en la programación y el CALCULUX utilizado como herramienta específica.

4. Análisis de Resultados

Una vez se realiza la simulación en el CALCULUX se obtiene la siguiente matriz de iluminancia:

Tabla 5. Matriz de Iluminancia

	1	2	3	4	5
1	1,6	2	2,4	2,9	3,5
2	1,9	2,4	2,9	3,6	4,2
3	2,2	2,8	3,5	4,3	5
4	2,4	3,2	4,1	5	5,9
5	2,6	3,5	4,5	5,6	6,7
6	2,7	3,7	4,7	5,8	7
7	2,6	3,5	4,5	5,6	6,7
8	2,4	3,2	4,1	5	5,9
9	2,2	2,8	3,5	4,3	5
10	1,9	2,4	2,9	3,6	4,2
11	1,6	2	2,4	2,9	3,5
6	7	8	9	10	11
4,1	4,5	4,5	4,3	3,9	3,4
4,8	5,2	5,1	4,8	4,3	3,7
5,7	6	5,8	5,4	4,7	4
6,7	6,9	6,5	5,8	5	4,2
7,5	7,7	7,1	6,3	5,3	4,4
7,7	8	7,4	6,4	5,4	4,5
7,5	7,7	7,1	6,3	5,3	4,4
6,7	6,9	6,5	5,8	5	4,2
5,7	6	5,8	5,4	4,7	4
4,8	5,2	5,1	4,8	4,3	3,7
4,1	4,5	4,5	4,3	3,9	3,4

Y la siguiente gráfica:

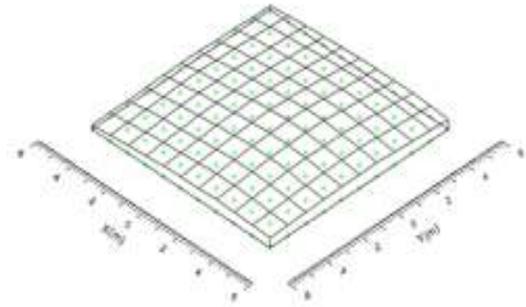


Figura 13. Punto máximo iluminancia

El valor más característico de ésta matriz de resultados es el valor del punto máximo. El simulador de optimización realizado en GAMS desarrolla una serie de ciclos de cálculos donde se compara si ese valor máximo supera o es inferior a lo establecido por la norma. A partir de ésta comparación se disminuye o incrementa la altura hasta lograr igualar la norma.

Mediante la aplicación del GAMS y utilizando los mismos datos del CALCULUX se obtienen los siguientes resultados:

COMPILATION TIME = 0.953 SECONDS 3 MB
24.3.3 r48116 WEX-WEI

GAMS 24.3.3 r48116 Released Sep 19, 2014 WEX-WEI
x86 64bit/MS Windows 06/20/18 09:28:26 Page 3

General Algebraic Modeling System
Execution

--- 187 La altura es;
PARAMETER Alt = 5.6 Altura de
instalación

--- 197 PARAMETER Lum1 Matriz de
Iluminancia E

	1	2	3	4	5	6
1	1.8	2.1	2.3	2.5	2.5	2.2
2	2.5	3.1	3.7	4.2	4.7	4.6
3	3.4	4.3	5.4	6.6	7.9	8.0
4	4.3	5.6	7.0	8.5	9.1	9.0
5	5.1	6.5	8.1	9.4	9.3	8.3
6	5.7	7.1	8.5	10.0	9.4	7.9
7	5.0	6.1	6.9	7.8	7.5	6.3
8	4.2	5.0	5.4	5.6	5.2	3.7

9	3.4	3.9	4.1	3.9	3.2	2.2
10	2.7	3.0	3.1	2.8	2.3	1.5
11	2.1	2.4	2.4	2.2	1.8	1.2

7	8	9	10	11
---	---	---	----	----

1	2.5	2.5	2.3	2.1	1.8
2	4.7	4.2	3.7	3.1	2.5
3	7.9	6.6	5.4	4.3	3.4
4	9.1	8.5	7.0	5.6	4.3
5	9.3	9.4	8.1	6.5	5.1
6	9.4	10.0	8.5	7.1	5.7
7	7.5	7.8	6.9	6.1	5.0
8	5.2	5.6	5.4	5.0	4.2
9	3.2	3.9	4.1	3.9	3.4
10	2.3	2.8	3.1	3.0	2.7
11	1.8	2.2	2.4	2.4	2.1

---- 198 PARAMETER LumProm = 5.0 Iluminancia promedio

EXECUTION TIME = 0.172 SECONDS 4 MB
24.3.3 r48116 WEX-WEI

USER: GAMS Development Corporation,
Washington, DC G871201/0000CA-ANY
Free Demo, 202-342-0180, sales@gams.com,
www.gams.com DC0000

**** FILE SUMMARY

Input

C:\Users\HCAM\Documents\gamsdir\projdir\O
ptimizador 2018.gms

Output

C:\Users\HCAM\Documents\gamsdir\projdir\O
ptimizador 2018.lst

5. Conclusiones

Con los datos obtenidos se pudo determinar la altura máxima de montaje de la iluminaria, lográndose una optimización de la iluminación de las camineras de cualquier parque, cumpliendo las normas de estándares de iluminación definidas por la INEN, sobre la que se rige parámetros de iluminancias promedios en Ecuador.

El desarrollo de cálculo de cálculos de evaluación de iluminancia desarrollada por simuladores de CALCULUX permite establecer un

conjunto de parámetros para el diseño de iluminaciones necesarias.

El error visualizado en la comparación de los datos entre los dos programas establece una diferencia significativa entre el desarrollo informático del fabricante Philips respecto al cálculo aplicado. Además, el simulador permite identificar si el foco está acorde con el grado de iluminación del suelo y a su vez con la altura permitan por la norma 069 de la INEN indicando si pertenece a un parámetro cercano al mínimo, óptimo o máximo.

Este tipo de simuladores facilitan el manejo de los cálculos especializados y demuestran que se debe contar con los programas necesarios y así establecer una seguridad y ahorro de tiempo en la resolución de dichas evaluaciones.

Los datos aplicados se han realizado en base a las indicaciones de las normativas INEN y de las indicaciones del fabricante Philips, y las aplicaciones actuales facilitan la implementación de dichas reglas.

6. Bibliografía

- [1] L. Diego and M. Naranjo, "Análisis de la ley de cuadrado inverso para medición práctica de iluminancia," vol. 19, no. 1, pp. 87–96, 2009.
- [2] J. L. Ordóñez, "Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico," pp. 17–31.
- [3] Secretaria de Comunicaciones y Transportes, *Manual de iluminación vial*. 2015.
- [4] A. Rodríguez, G. Leonardo, R. López, L. Rivera, and A. G. Osorio, "Enrutamiento y asignación de longitud de onda: una solución con búsqueda Tabú en tráfico dinámico Routing wavelength assignement: a

- solution with Tabu search in dynamic traffic,” vol. 22, pp. 495–503, 2014.
- [5] T. Alvarez Bayona, “Iluminación en el puesto de trabajo,” *Instituto Nac. Secur. e Hig. en el Trab.*, p. 43, 2015.
- [6] J. Romero and C. Quintana, “Unidades y conceptos de iluminación,” no. cd, 2014.
- [7] A. Serrano-Tierz, A. M. Iturbe, Ó. G. Muñoz, and J. L. S. Sáenz, “Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso,” *Dyna*, vol. 82, no. 191, pp. 231–239, 2015.
- [8] C. Cabanes and P. Villa, “Magnitudes Fotométricas básicas . Unidades de medida . 1-Resumen de las ideas clave.”
- [9] M. P. G. Sanz, “Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para su evaluación y acondicionamiento,” *Instituto Nac. Secur. e Hig. en el Trab.*, pp. 1–39, 2015.
- [10] National Optical Astronomy Observatory, “Niveles de iluminación recomendados para interior y exterior,” 2016.
- [11] V. Bravo, L. Rendón, and G. Salazar, “Propuesta de Normativa de Iluminación para Zonas Recreativas y Deportivas de la Ciudad de Quito , Realizando un Estudio Técnico- Económico con la Situación Actual,” vol. 36, no. 1, 2015.
- [12] F. Moreno, “Protocolo para la evaluación de la luminancia e iluminancia en los lugares de trabajo,” 2015.
- [13] J. A. Caminos, *Criterios de diseño en limunación y color*. 2011.
- [14] E. SanJuan Sánchez, “Conceptos Básicos de Luminotecnia,” 2014.
- [15] Indalux, “Principios Fundamentales,” *Man. iluminación, Luminotecnia 2012*, pp. 57–66, 2012.
- [16] Philips, “Norma europea sobre la iluminación para interiores,” pp. 1–15, 2008.
- [17] A. B. Valdecantos, “Calidad y Seguridad de productos de Iluminación,” pp. 121–130, 2013.
- [18] Ministerio de Industria Turismo y Comercio, “Guia técnica de aplicación instalaciones de alumbrado exterior,” p. 38, 2014.
- [19] N. O. Mexicana, “NORMA Oficial Mexicana NOM-030-ENER-2016, Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.” p. 38, 2016.
- [20] INEN, “Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 (1R) Alumbrado Público,” no. 351, pp. 1–11, 2015.
- [21] Conelec, “Regulación No. CONELEC 005/14,” 2014.
- [22] S. Olarte, M. Granja, and J. Serrano, “Proyecto de Investigación de un Sistema Híbrido para una Bicicleta de Montaña .,” vol. 32, no. 1, pp. 27–36, 2013.
- [23] S. A. G. Anaya, “Diseño lumínico La fotometría,” pp. 66–75, 2013.
- [24] A. V. Herrera, “Calidad de iluminación en ambientes de trabajo de la Dirección General de Salud Ambiental,” 2007.
- [25] J. Rodriguez and C. Llano, “Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux,” *Guía para el diseño Instal. iluminación Inter. Util. Dialux*, p. 86, 2012.
- [26] Universidad republica de Uruguay, “Iluminación Exterior Alumbrado Publico, Vial y Peatonal, Deportivo, Fachadas

- (‘Embelllecimiento urbano’),”
2014.
- [27] L. Medina, “Método de los nueve puntos,” 2016.
- [28] Holophane, “Principios de Iluminación,” 2016.
- [29] J. Marianas Montalvillo, “Pavimentación y mejora del alumbrado público en la calle del ancla pozuelo de alarcón.,” p. 261.
- [30] B. A. Mccarl, A. Meeraus, M. Bussieck, and P. Steacy, “GAMS User Guide,” p. 713, 2008.

7. Estado de Arte

Tabla 6. Matriz del Estado del Arte

OPTIMIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PARQUES CONFORME A LA NORMA RTE INEN 069 BASADO EN RESTRICCIONES FOTOMÉTRICAS																									
DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	Conceptualización general	Estudio de Iluminancia	Determinación de luminiscencia	Curvas	Reconocimiento de leyes	Métodos de calculo	Leyes relacionadas	Reglamentos para Interiores	Reglamento de alumbrado publico	Flujo lumínico	Iluminancia	luminiscencia	Ángulos horizontal y vertical	Estructuras	Estructuras	Propuesta especifica	Propuesta Posible	Obtención de datos	Análisis de datos	Evaluación	Conclusiones	
1	2009	Análisis de la ley de cuadrado inverso para medición práctica de iluminancia	\cite{IEEE, 2009}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2017	Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico	\cite{IEEE, 2017}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2015	Manual de Iluminación Vial	\cite{IEEE, 2015}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2015	Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos	\cite{IEEE, 2015}	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2016	Flujo luminoso	\cite{IEEE, 2016}	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	2015	Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial	\cite{IEEE, 2015}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2015	Protocolo para la evaluación de la luminancia e iluminancia en los lugares de trabajo	\cite{IEEE, 2015}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				

26	2015	Pavimentación y mejora del alumbrado publico en la calle del ancla Pozuelo de Alarcón	\cite{IEEE, 2015}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	2007	GAMS — A User's Guide	\cite{IEEE, 2007}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28	2007	Alumbrado Público Exterior	\cite{IEEE, 2007}	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
29	2015	Diseño lumínico. La fotometría	\cite{IEEE, 2015}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
30	2014	Enrutamiento y asignación de longitud de onda: una solución	\cite{IEEE, 2014}	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	2015	Manual de Iluminación Vial	\cite{IEEE, 2015}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CANTIDAD:				14	17	12	8	10	17	13	11	9	19	17	17	11	13	13	10	8	5	10	12	5

Tabla 7. Resumen e Indicadores del Estado del Arte

