



Administración efectiva de recursos técnicos para el diseño de iluminación viaria mediante tecnología LED

<https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.532>

Darwin Cuasapaz¹, Ricardo Rosero¹, Santiago Illescas¹

¹ Instituto Superior Tecnológico Sucre, Tecnología Superior en Electricidad,
Avenida 10 de agosto N26-27 y Luis Mosquera Narváez-Ecuador 170109 Quito, Ecuador

¹*dcuasapaz@tecnologicosucre.edu.ec, sillescas@tecnologicosucre.edu.ec, rrosero@tecnologicosucre.edu.ec*

RESUMEN

A nivel mundial el diseño de sistemas de iluminación viario debe cumplir con normas y criterios de acuerdo al tipo de vía, densidad de tráfico, topología entre otras. Según el CENACE en Ecuador el sistema de alumbrado público supone un 6% del consumo eléctrico nacional. La tecnología LED hasta el momento se muestra como la mejor opción para sistemas de iluminación industrial y comercial, respecto a sistemas de iluminación viario cabe mencionar que los costos de adquisición van en decremento; sin embargo, al compararlo con tecnologías convencionales como son las lámparas de vapor de sodio aún son mucho más costosas. Si bien es cierto la potencia de las luminarias LED es baja respecto a tecnologías convencionales, el flujo luminoso es superior. La presente investigación muestra una metodología que permitirá tomar una decisión rápida del diseño en tramos de 100m lineales, el análisis se realiza en diferentes escenarios empleando el software Dialux 8.1 y en correlación a los criterios de la regulación ARCONEL 006/18. Se procedió a evaluar en tres escenarios, teniendo como resultado que dos de ellos cumplen con los criterios de calidad.

Palabras Clave: Dialux, Flujo luminoso, Iluminancia, Sistema de iluminación.

Abstract. Worldwide, the design of road lighting systems must comply with standards and criteria according to the type of road, traffic density, topology, among others. According to CENACE in Ecuador, the public lighting system accounts for 6% of the national electricity consumption. LED technology so far is shown as the best option for industrial and commercial lighting systems, with respect to road lighting systems we can mention that the acquisition costs are decreasing, however, when compared with conventional technologies such as street lamps. Sodium vapor are still much more expensive, although the power of LED luminaires is low compared to conventional technologies, the luminous flux is higher. The present investigation shows a methodology that will allow a quick design decision to be made in sections of 100 linear meters, the analysis is carried out in different scenarios through the help of the Dialux 8.1 software and in correlation to the criteria of the ARCONEL 006/18 regulation. . Three scenarios were evaluated, with the result that two of them meet the quality criteria.

Keywords: Dialux, Luminous flux, Illuminance, Lighting system.

Introducción

Hoy en día, el uso eficiente de la energía eléctrica se plantea como una necesidad global para solucionar los problemas climáticos y de contaminación medio ambiental.

La iluminación artificial representa alrededor del 20% de la producción eléctrica mundial y las emisiones de CO₂ de 1900 Mt por año [1]. La tecnología de iluminación por diodos emisores de luz (LED) es la indicada para reemplazar las tecnologías de sodio incandescente, fluorescente, de baja y alta presión (HPS) y de halogenuros metálicos (MH), que se utilizan masivamente para la iluminación de espacios al aire libre. Estas luces tienen una amplia gama de longitudes de onda, consumen grandes cantidades de energía eléctrica y producen calor, lo que hace que estos elementos del sistema sean ineficientes [2]. Entre las ventajas de las luminarias LED tenemos; son de bajo consumo energético, la baja emisión de calor al ambiente, el mantenimiento es nulo y tiene una larga vida [3].

En el Ecuador el alumbrado supone un 6% del consumo eléctrico nacional y se lo ha categorizado en Alumbrado Público General (Iluminación de vías), Alumbrado Público Ornamental (Iluminación de parques, plazas, iglesias, monumentos) y Alumbrado Público Intervenido. La tecnología LED avanza rápidamente y ofrece un gran potencial de ahorro de energía. El aumento de la eficacia y la mejora del diseño de luminarias y control de la iluminación permite mejorar la optimización de diferentes condiciones de iluminación, la tecnología LED cumple con los criterios de calidad como luminancia, color de la luz, reproducción del color, distribución de la luz, parpadeo y deslumbramiento. el estudio realizado por Mónica Sabogal (2015) realizado en Colombia, donde se evidencia la urgente necesidad de cambiar los modelos de iluminación del país, implementando tecnología LED con un beneficio directo en el consumo de energía, logrando ahorros de electricidad de entre el 50% y el 90%, proyectando un retorno de la inversión a muy corto plazo [4].

Referente al diseño es importante considerar que la temperatura de color de la fuente de luz tiene un efecto sobre la eficiencia energética del sistema de iluminación y puede causar efectos fisiológicos para los seres humanos y los animales. Se ha demostrado que la luz blanca favorece la percepción del ojo humano de manera más efectiva que la luz ámbar, pues se percibe una mayor intensidad.

Leyes y curvas

Ley inversa de los cuadrados

La ley inversa del cuadrado se refiere a aquellos fenómenos físicos ondulatorios, como la luz y el sonido, cuya intensidad disminuye de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro donde se origina [5].

$$(I = E_1 d_1^2 I = E_2 d_2^2) \rightarrow E_1 d_1^2 = E_2 d_2^2 \rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1)$$

Donde:

E_1 Iluminación a la distancia d_1

E_2 Iluminación a la distancia d_2

d_1 = distancia 1

d_2 = distancia 2

En la figura 1 se aprecia la representación gráfica de dicha ley, se observa cómo la intensidad luminosa disminuye a medida que la distancia aumenta.

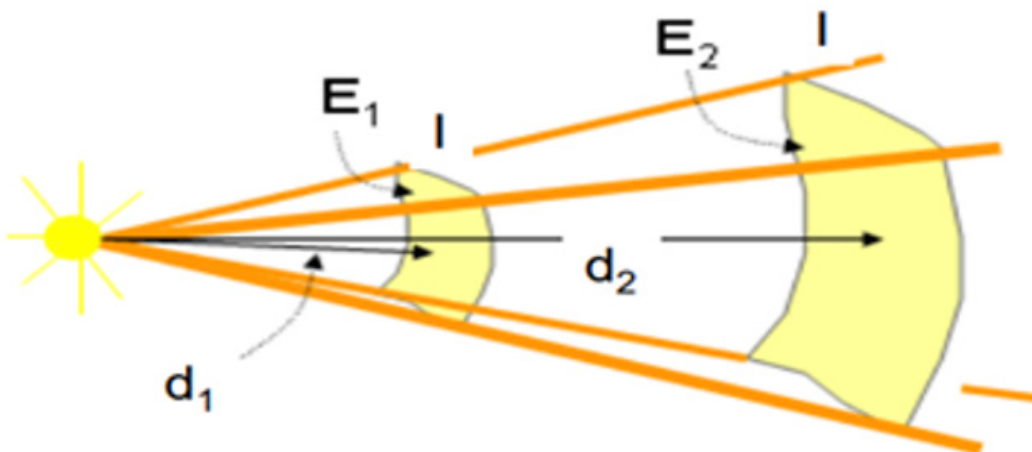


Fig. 1. Ley inversa de los cuadrados

Ley de los cosenos

Cuando la superficie iluminada no es perpendicular a la dirección del rayo luminoso, como el punto considerado en la figura 2, la iluminancia recibida se descompone en una componente horizontal E_H y una componente vertical E_V [6].

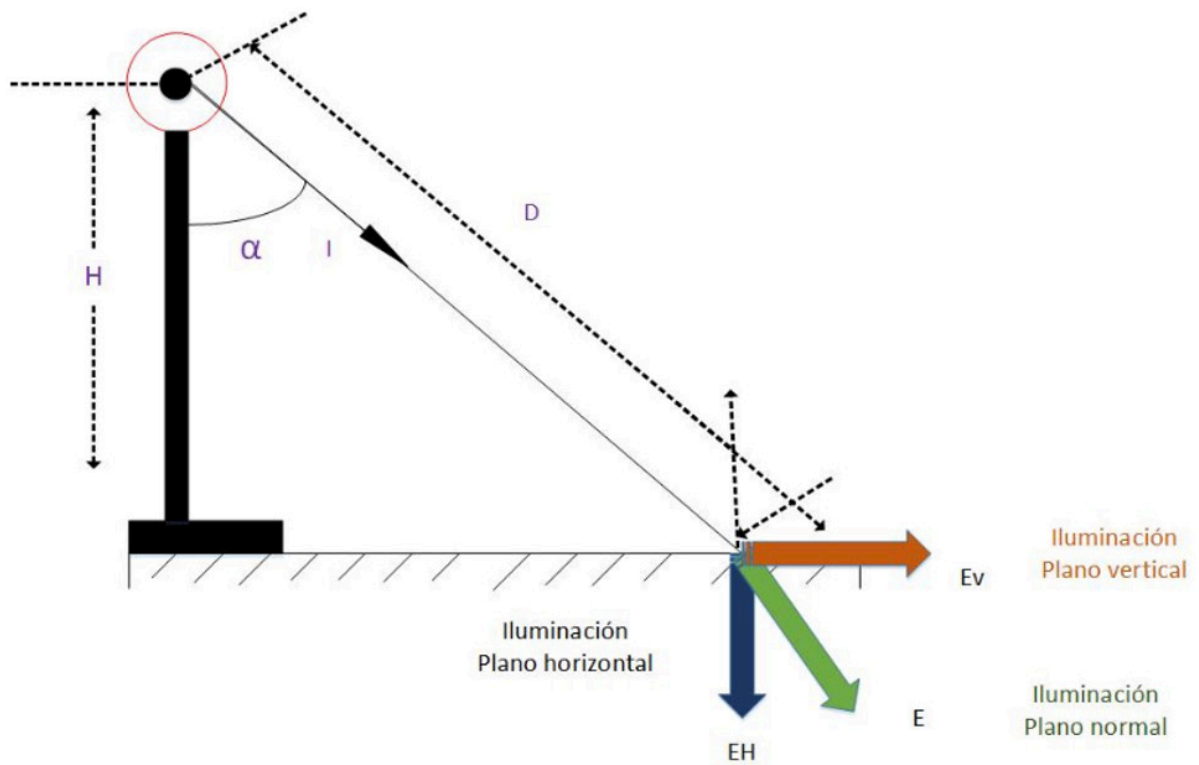


Fig. 2. Ley de cosenos

En función de la figura 2 obtenemos para E_H :

$$E_H = \frac{I \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (2)$$

Mientras que para E_V :

$$E_V = \frac{I}{H^2} \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos^2 \alpha \quad (3)$$

Para ambos casos tenemos que:

E_H = Iluminación plano Horizontal

E_V = Iluminación plano vertical

d = distancia de la luminaria al punto donde se quiere saber la iluminación

H = altura de la luminaria al piso

Curvas de distribución luminosa

Las curvas fotométricas son la representación gráfica del comportamiento de la luz, muestran diferentes características relacionadas con la naturaleza de la fuente, el tipo de reflector, la óptica o el diseño de las luminarias [7]. Contar con las curvas y sus correspondientes archivos fotométricos es una herramienta importante para la selección de la luminaria o la fuente ideal para cada proyecto de iluminación. Es importante disponer de archivos fotométricos fiables y acordes a las curvas polares presentadas por los fabricantes en sus catálogos de luminarias para contar con los cálculos correctos [8].

Curvas Isolux

Son puntos que unen espacios de una superficie que tienen igual nivel de iluminación, Son análogas a las curvas de nivel de los planos topográficos, pero ahora de relación en metros, se indican en lux[5]. Normalmente, las curvas Isolux se suministra, para una determinada luminaria, reducidas a la distancia de un metro y referidas a 1000 lúmenes [9].

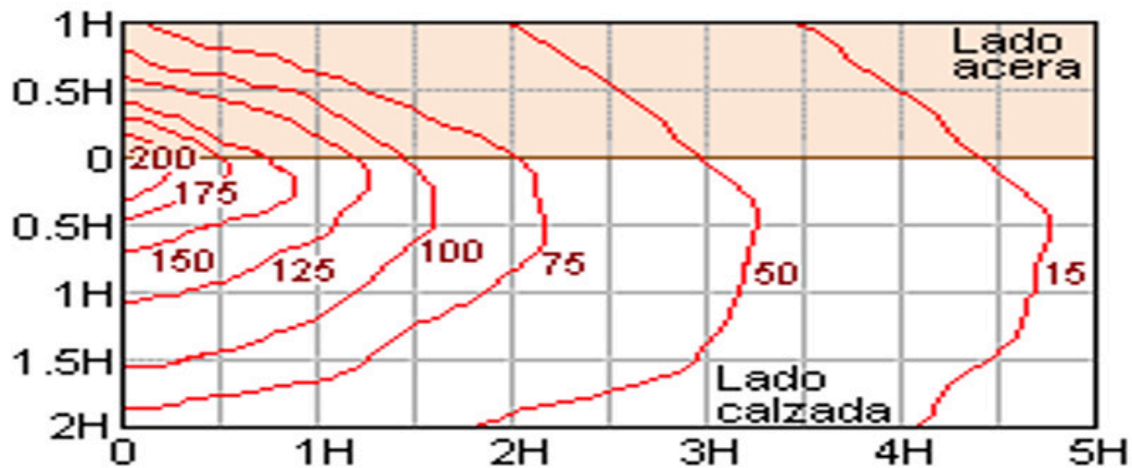


Fig. 3. Curva Isolux

Tipos de iluminación

Iluminación viaria y urbana

El objetivo principal de la iluminación viaria y urbana es permitir una visión segura y cómoda a los conductores y peatones, durante las horas en las que la luz natural no es suficiente, cabe diferenciar que la iluminación funcional hace referencia a las instalaciones de iluminación de carreteras, autopistas, autovías y vías urbanas mientras que la iluminación ambiental se refiere a las instalaciones de alumbrado sobre soportes de baja altura, entre 3 y 5 metros, en zonas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques, jardines y vías de velocidad limitada estas instalaciones requieren unas condiciones visuales distintas por la velocidad de movimiento de las personas y la importancia de los objetos u obstáculos que están cerca, en lugar de los que están más alejados[8].

La iluminación ambiental comparte los mismos objetivos que la iluminación funcional pero también debe formar parte integral del paisaje urbano durante el día y crear sensación acogedora de bienestar en la noche [9].

En las luminarias para alumbrado público, para definir una dirección, se utilizan los ángulos C y Υ , usados en los diagramas polares [10]. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella, se dibujan las líneas isocandelas [11].

Los puntos de las curvas se obtienen por intersección de los vectores de la intensidad luminosa con la superficie de ésta. Para la representación plana de la superficie, se recurre a la proyección azimutal de Lambert, como lo muestra la figura 4.

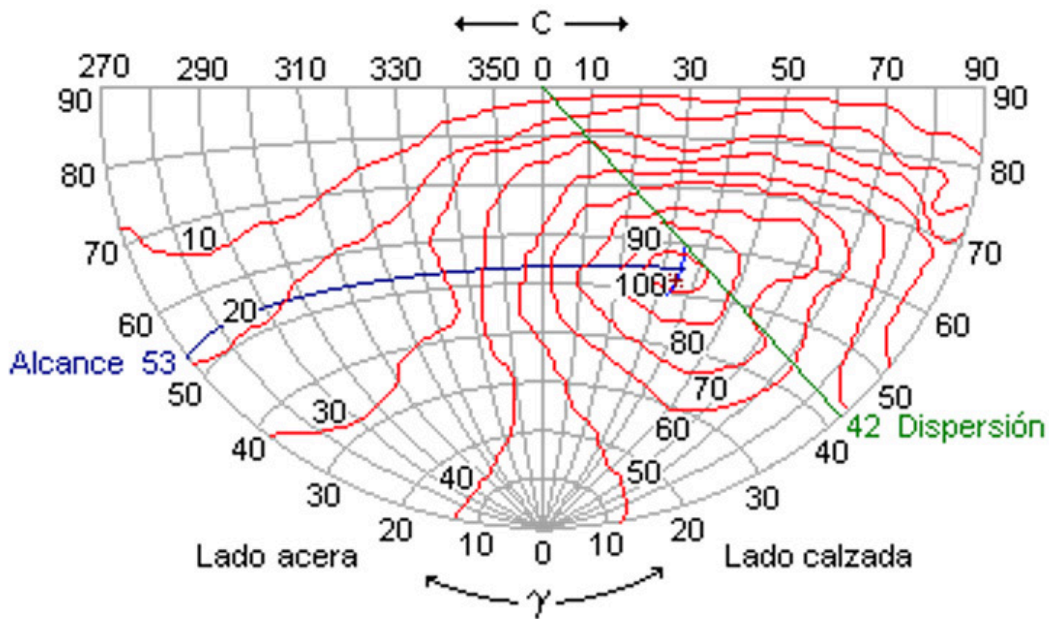


Fig.4. Líneas isocandelas

En la figura 4, los meridianos representan el ángulo C, los paralelos el ángulo Y y las intensidades las líneas rojas, se representan en tanto por ciento de la intensidad máxima. Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en el diagrama (en estereorradianes), por la intensidad luminosa en el área [12].

Además de intensidades y flujos, este diagrama informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria [13]. El alcance da una representación de la distancia longitudinal máxima que llegaría el haz de luz en la calzada, mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal [14].

Metodología de diseño

Se presenta una base metodológica para el diseño de iluminación viaria a 100m lineales, el análisis se lo realiza en diferentes escenarios por medio de la ayuda del software Dialux 8.1 y en correlación a los criterios de la regulación ARCONEL 006/18. Se procedió a evaluar en tres escenarios en los que se toma en cuenta los parámetros de: dimensiones de la vía, presencias de curvas, aceras laterales, línea verde, tipo de iluminación, características de la firmeza de la calzada y la distancia calzada-acera

Las especificaciones sobre la clase de alumbrado están clasificadas de M1 a M5, y son seleccionadas conforme a: la función de la vía pública, densidad de tráfico, complejidad del tráfico, separación del tráfico y la existencia de facilidades para el control de éste, tales como señales de tránsito (Ver tabla 1).

Tabla 1. Clases de alumbrado para diferentes vías públicas

Descripción de la vía	Clase de alumbrado
Vías de alta velocidad, con pistas separadas libres de intersecciones al mismo nivel y con accesos completamente controlados, autopistas, autovías. Con densidad de tráfico y complejidad de circulación	
Alta (Más de 1000 vehículos/hora)	M1
Media (Entre 500 y 1000 vehículos/hora)	M2
Baja (Entre 150 y menos de 500/hora)	M3
Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:	
Pobre	M1
Bueno	M2
Vías secundarias de conexión, carreteras distribuidoras locales, vías de acceso principales residenciales, carreteras que proporcionan acceso a propiedades y conducen a conexiones de carreteras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:	
Pobre	M4
Bueno	M5

Fuente: Arconel 008/16

Conocidas las características de las vías y sus requerimientos visuales, se deberá asignar la clase de iluminación necesaria. A cada clase de iluminación se le establece los requisitos fotométricos mínimos mantenidos a través del tiempo, los cuales se condensan en la tabla 2 para luminancia, cuando este es el criterio aplicado.

Tabla 2. Valores mínimos de iluminancia

Clase de iluminación Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx) Uniformidad de la iluminancia

Clase de iluminación	Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx)			Uniformidad de la iluminancia Emin/Eprom (%)
	R1	R2 y R3	R4	
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Fuente: Arconel 008/16

Los diseños podrán ser realizados en base al criterio de iluminancia para las vías cuyas características se encuentran en la tabla 3 consideradas en la tabla 2.

Tabla 3. Características de la calzada

Clase de iluminación	Descripción del uso de la calzada
R1	Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales reflectivos o materiales artificiales claros o al menos un 30 % de anortositas muy brillantes.
	Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o reflectivos o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes.
	Superficies de calzada de hormigón de concreto.
R2	Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales.
	Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de abrilladores artificiales.
R3	Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm.
	Asfalto mástico después de ser tratado.
	Revestimiento en Hormigón (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa.
	Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.

Fuente: Arconel 008/16.

Mediante la recolección de información en diferentes catálogos de luminarias y el análisis de sus características lumínicas tales como: curvas isolux, curvas de distribución luminosa, potencia, aplicaciones y garantía, ayudo a determinar el tipo de luminaria más adecuada desde un punto de vista técnico y económico.

Resultados

Para la determinación de la opción más viable desde un punto de vista técnico y económico se procedió a generar tres escenarios distintos, en los mismos se aprecia el diseño de iluminación, fuerza y un análisis de costos.

Los distintos escenarios han sido simulados en el software DIALUX 8.1 tomando en cuenta las siguientes características:

Tabla 4. Características del caso de estudio

Dimensiones de la vía	5m/ 100m
Presencia de curvas	No
Aceras laterales	No
Línea verde	Costados
Tipo de iluminación	M4
Características de la firmeza de la calzada	R3
Distancia calzada-acera	0.60m (Por normativa)

Para efectos de estudio se ha seleccionado una luminaria con las siguientes características:

Tabla 5. Características del caso de estudio

Tecnología	LED
Potencia	100 W
Flujo luminoso	12379 lm
Factor de utilización/degradación	0.670

Escenario 1

En este escenario se considera tres luminarias separadas por una distancia entre mástiles de 31m y 19m de distancia desde el inicio de la calzada hasta el primer mástil dicha distancia se replica desde el ultimo mástil hasta el final de la calzada (Figura 5)

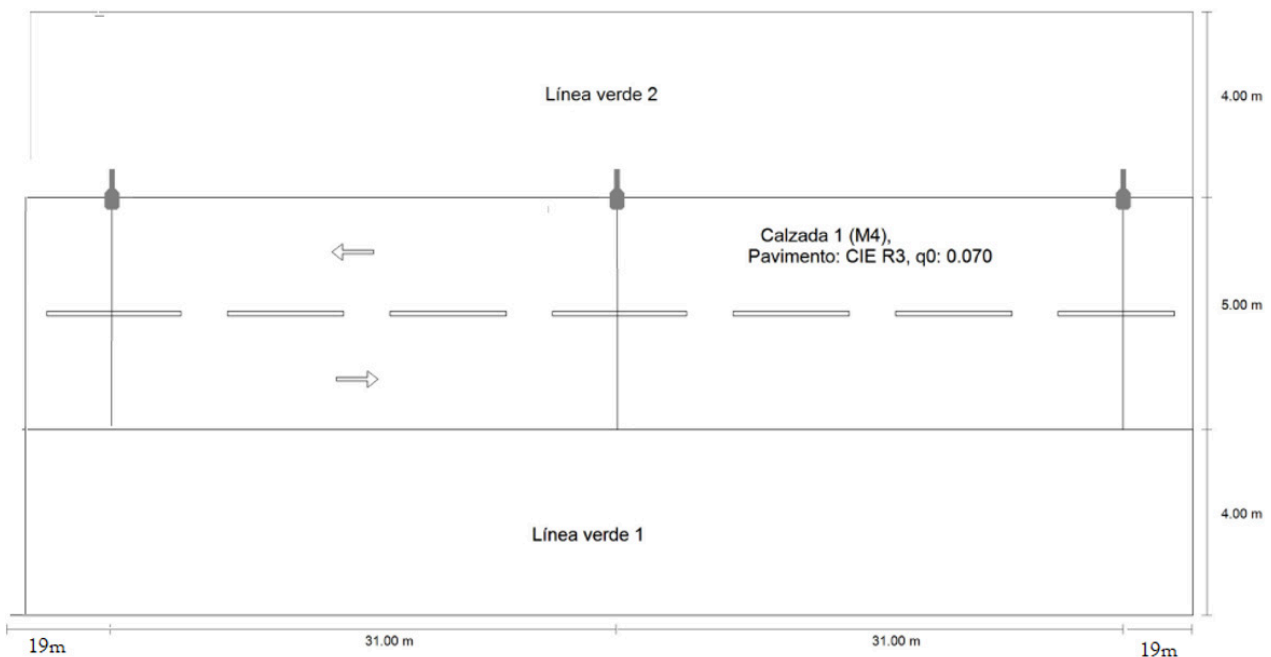


Fig. 5. Distancia entre mástiles-escenario 1

En la tabla 6, se puede observar el dimensionamiento de cada luminaria incluido el mástil, en las pruebas realizadas se pudo determinar que la altura de punto de luz no puede ser menos a 8m pues no se cumpliría con el factor de uniformidad U_i .

Tabla 6. Dimensionamiento de la lámpara

1.- Altura de punto de luz	8m	
2.- Saliente del punto de luz	0m	
3.- Inclinación del brazo	0.00	
4.- Longitud del brazo	0.60	

Los datos arrojados en la simulación realizada en DIALUX 8.1 son los siguientes:

Luminancia medida (**Lm**): Valor medio de la luminaria en una superficie Cd/m^2

Uniformidad global de luminancias (**Uo**): Es la relación entre la luminancia mínima y la media.

Uniformidad longitudinal de luminarias (**Ui**): En alumbrado viales, es la relación mínima/ media a lo largo de un eje de circulación.

Tabla 7. Resultados de simulación escenario 1- Altura de punto de luz 6m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.97cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	Uo	0.42	≥ 0.40	✓
	Ui	0.35	≥ 0.60	x
	TI	11%	≤ 15%	✓
	R□	0.64	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 8. Resultados de simulación escenario 1- Altura de punto de luz 8m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.78cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	Uo	0.58	≥ 0.40	✓
	Ui	0.61	≥ 0.60	✓
	TI	7%	≤ 15%	✓
	R□	0.74	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 9. Resultados de simulación escenario 1- Altura de punto de luz 10m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.65cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	x
	Uo	0.71	≥ 0.40	✓
	Ui	0.78	≥ 0.60	✓
	TI	5%	≤ 15%	✓
	R□	0.79	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Escenario 2

En este escenario se considera dos luminarias separadas por una distancia entre mástiles de 40m entre mástiles y 10m de distancia desde el inicio de la calzada hasta el primer mástil dicha distancia se replica desde el ultimo mástil, se intentó determinar la factibilidad de utilizar dos luminarias, sin embargo, a pesar de que se realizó una variación de la altura de punto de luz de 6m hasta 12m no se obtuvo resultados favorables pues no se cumplió con los criterios de calidad.

Tabla 10. Resultados de simulación escenario 2-Altura de punto de luz 6m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.76cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	Uo	0.30	≥ 0.40	x
	Ui	0.17	≥ 0.60	x
	TI	13%	≤ 15%	✓
	R□	0.64	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 11. Resultados de simulación escenario 2-Altura de punto de luz 8m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.61cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	x
	Uo	0.45	≥ 0.40	✓
	Ui	0.38	≥ 0.60	x
	TI	8%	≤ 15%	✓
	R□	0.74	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 12. Resultados de simulación escenario 2-Altura de punto de luz 10m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.51cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	x
	Uo	0.59	≥ 0.40	✓
	Ui	0.58	≥ 0.60	x
	TI	6%	≤ 15%	✓
	R□	0.79	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Escenario 3

En este escenario se considera dos luminarias separadas por una distancia entre mástiles de 20m entre mástiles y 20m de distancia desde el inicio de la calzada hasta el primer mástil dicha distancia se replica desde el ultimo mástil, se incrementa el número de luminarias a 4 esperando con ellos poder disminuir la altura de punto de luz y por ende del mástil. (Figura 6)

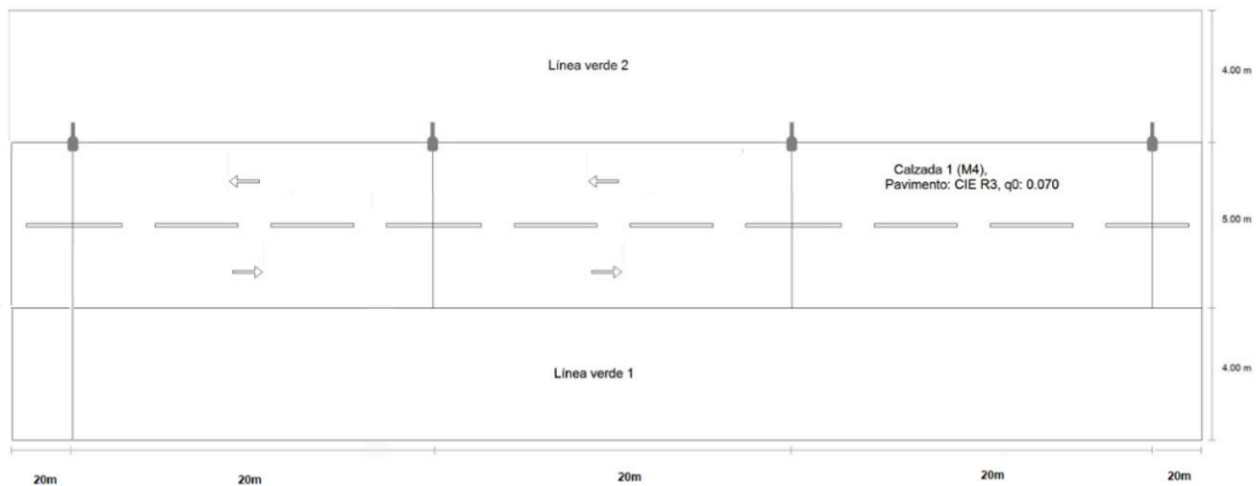


Fig. 6. Distancia entre mástiles-escenario 3

Tabla 13. Resultados de simulación escenario 3-Altura de punto de luz 4m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	1.99 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	Uo	0.42	≥ 0.40	✓
	Ui	0.39	≥ 0.60	x
	TI	23%	≤ 15%	x
	R□	0.47	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 14. Resultados de simulación escenario 3-Altura de punto de luz 5m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	1.72 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	U _o	0.53	≥ 0.40	✓
	U _i	0.60	≥ 0.60	✓
	TI	13%	≤ 15%	✓
	R _□	0.57	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 15. Resultados de simulación escenario 3-Altura de punto de luz 6m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	1.51 cd/m ²	≥ 0.75 cd/m ²	✓
	U _o	0.59	≥ 0.40	✓
	U _i	0.75	≥ 0.60	✓
	TI	9%	≤ 15%	✓
	R _□	0.64	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Análisis comparativo de los dos escenarios más viables

En la tabla 16 se puede observar la comparativa de materiales a utilizar se desprecia los materiales de obra civil, así como la cantidad de tubería Conduit pues respecto a costos se considera una variabilidad mínima.

Tabla 16. Comparativa entre escenarios viables

	Escenario 1	Escenario 3
Número de luminarias	3	4
Número de poste o mástil	3	4
Altura de punto de luz	8m	5m
Carga total	300W	400W
Metros de conductor requerido por fase	De 121m a 125m	De 125m a 130m

Dimensionamiento de conductores

Para el dimensionamiento del calibre de los conductores se considera como mínimo la capacidad de corriente

Tabla 17. Dimensiones del conductor

	Escenario 1	Escenario 3
Carga total	300	400
Demanda total	3	4
Altura de punto de luz	8m	5m
Carga total	300W	400W
Metros de conductor requerido por fase	De 121m a 125m	De 125m a 130m

Conclusiones

En este caso de estudio y en función de las características propias de la vía se trata de un tramo M4, R3 es decir una vía de bajo tráfico (<100 vehículos por hora) y superficie rugosa.

La simulación se efectuó en el software Dialux donde se puede concluir que para un tramo de 100 m existen dos alternativas viables utilizando 3 y 4 luminarias, por tanto, el número de luminarias en gran medida estará en función de la altura del haz de luz.

El costo del proyecto puede variar en función de la topología seleccionado, pues si bien es cierto en el primer caso se utilizan menos luminarias, se debe considerar que la altura del poste será mayor, lo cual representa tanto un impacto a nivel visual como en el costo del poste.

Si bien es cierto la potencia de las luminarias LED es baja, esto no implica que el efecto de caída tensión debe descuidarse, pues a 100m de distancia se presenta caídas de tensión considerables, aun así y por la potencia de la lámpara, la tecnología LED tiene ventaja, pues los costos en cableado en comparación con tecnologías tradicionales son menores.

Referencias

- C. Vargas, M. García, D. Guevara, and A. Ríos, "Escenarios de Integración de Sistemas Inteligentes de Iluminación Fotovoltaica en las Autopistas del Ecuador," *Rev. Técnica &energía*, vol. 12, no. 1 SE-TECNOLÓGICOS E INNOVACIÓN, p. 251–261 pp., Jan. 2016.
- D. López and D. Mideros, "Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación (Design of a Smart and Compact Illumination System)," pp. 226–235, 2018.
- E. Olvera-gonzalez and N. Escalante-garcia, "applied sciences Modeling Energy LED Light Consumption Based on an Artificial Intelligent Method Applied to Closed Plant Production System," 2021.
- Hermoso-Orzáez, M., Rojas-Sola, J., & Gago-Calderón, A. (2016). Electrical consequences of large-scale replacement of metal halide by LED luminaires. *Lighting Research & Tech-nology*, 50(2), 282–293. doi:10.1177/1477153516645647
- J. Huam, "CONTROL INTELIGENTE DE EDIFICIOS Jezzy Huamán-Rojas," 2017.

- L. A. C. D. E. Cuenca, "UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ciencias Químicas Maestría en Planificación y Gestión Energéticas," 2013.
- Naranjo, L. D. M. (2009). Análisis de la ley de cuadrado inverso para medición práctica de iluminancia. *Revista Ingeniería*, 19(1), 87-96.
- Q. García and J. Leonardo, "Caracterización del consumo de energía eléctrica en el edificio Cornelio Merchán de la Universidad Politécnica Salesiana (sede Cuenca)," 2015.
- Rehman, M., Ullah, S., Bao, Y. et al. Light-emitting diodes: ¿whether an efficient source of light for indoor plants? *Environ Sci Pollut Res* 24, 24743–24752 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0333-3>
- Sabogal Cruz, M. A. (2016). Análisis de costo/beneficio en la implementación de sistemas de iluminación led en la construcción de vivienda multifamiliar de estrato 4 en la ciudad de Bogotá (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).
- Tovar, I. L. J., & Benavides, H. S. (2015). Eficiencia del Ahorro Energético y Reducción del Impacto Ambiental Negativo de la Tecnología LED. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 2(3).
- V. Carlos, G. Jesús, R. Katherine, and R. Alberto, "Sistema de Iluminación Fotovoltaico en el Alumbrado Público Gestionado a través de una Plataforma Cloud / GIS Photovoltaic Lighting System in Public Lighting Managed through a Cloud / GIS Platform," vol. 39, no. 1, pp. 59–66, 2017.
- V. Palacio, "Diseño de iluminación: desarrollo, práctica y educación," vol. 19, 2018.
- Y. R. Gonzal and E. Ram, "Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores - Vertical Farming (VF) Development of an artificial LED lighting system for indoor," vol. 80, pp. 111–120, 2016.



IDEAS

Journal