



Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

Daniel Mauricio Cabezas Zamudio

Cód. 10431518846

Juan David Cabezas Zamudio

Cód. 10431518055

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2022

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

Daniel Mauricio Cabezas Zamudio

Juan David Cabezas Zamudio

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director:

Ingeniero, Carlos Alberto Avendaño Avendaño

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, Día Mes 2022.

(Dedicatoria)

A mis padres que siempre me apoyaron durante este largo proceso con muchos retos, por ayudarnos a mantener la motivación y determinación durante los momentos difíciles; a mis compañeros de estudio los cuales fueron determinantes en este proceso de aprendizaje y cumplimiento de los deberes académicos.

Agradecimientos

Agradecemos a nuestro director de proyecto de grado Carlos Alberto Avenaño Avendaño por ser guía durante el proceso de desarrollo del mismo, a Juan Pablo Hernandez Estupiñán director de agencia de la empresa Sociluz S.A. E.S.P quien facilitó los medio para obtener la información de infraestructura, medidas y cotizaciones requeridos para el desarrollo del proyecto.

Contenido

Pág.

Abstract.....	10
Introducción	11
Antecedentes	12
Objetivos	13
Justificación	14
1. ALUMBRADO PÚBLICO	17
1.1. Parámetros para diseñar un proyecto de alumbrado público	17
1.1.1. Levantamiento de información de infraestructura	17
1.1.2. Diseño del proyecto.....	17
1.2. Diagrama de distribución fotométrica	19
1.3. Conceptos básicos.....	20
1.3.1. Eficacia lumínica.....	20
1.3.2. Índice de Reproducción Cromática (IRC)	20
1.3.3. Temperatura de color.....	20
1.3.4. Vida útil	20
1.3.5. Índice de protección (IP).....	20
1.3.6. Grado de Protección contra golpes (IK).....	21
1.3.7. Luminancia Promedio (<i>LProm</i>):	21
1.3.8. Iluminancia Promedio (<i>EProm</i>):.....	21
1.3.9. Factor De Uniformidad (<i>Uo</i>):	21
1.3.10. Incremento Del Umbral (<i>Ti</i>):.....	21
1.4. Métodos de Medición de luminosidad	22
1.5. Software Para Diseño De Iluminación	23
1.6. Dialux.....	24
1.7. Comparación técnica de tecnología Sodio Vs LED	24
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	25
2.1. Alumbrado Público en Soacha	25
2.2. Infraestructura Existente	26
2.3. Clase De Iluminación Asignada	27

2.4.	Iluminancia Existente Y Cálculo De Iluminancia Promedio Existente.....	27
2.5.	Características Luminaria Seleccionada.....	28
2.6.	Medio Ambiente	30
3.	INFORME DE RESULTADOS SIMULACIÓN DIALUX EVO	31
3.1.	Informe de luminaria.....	33
3.2.	Disposición y medidas de área.....	35
3.3.	Configuración de postes y soportes.....	36
3.4.	Resumen resultados de simulación.....	37
3.4.1.	Resumen resultados de simulación camino peatonal 1	38
3.4.2.	Resumen resultados de simulación camino para bicicletas 2	40
3.4.3.	Resumen resultados de simulación Calzada 1	42
3.4.4.	Resumen resultados de simulación camino peatonal 2	44
4.	EVALUACIÓN DE COSTOS	46
4.1.	Análisis Comparativo De Energía Y Costos De Energía	49
4.2.	Punto De Equilibrio Económico.....	52
	CONCLUSIONES.....	55
	ANEXOS.....	56
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

Lista de Figuras

		Pág.
Figura 1.	Distribución fotométrica suministrada en datasheet de luminaria Sylvania LED STREET 100-200W NW URBAN 7P P23814.....	19
Figura 2.	530.2.1 a. Cálculo de la iluminancia promedio método europeo de los 9 puntos.	22
Figura 3.	Ecuación para cálculo de iluminancia promedio a través del método europeo de nueve puntos.....	23
Figura 4.	Mapa de área del proyecto	26
Figura 5.	Distribución fotométrica suministrada en datasheet de luminaria Sylvania LED STREET 100-200W NW URBAN 7P P23814.....	29
Figura 6.	Portada reporte Dialux Evo	32
Figura 7.	Listado de luminarias Dialux Evo	33
Figura 8.	Ficha técnica general de luminaria Sylvania LED Street Light Urban	34
Figura 9.	Ficha técnica luminaria Sylvania en configuración 100W	34
Figura 10.	Disposición de luminarias y medidas del área	35
Figura 11.	Parámetros de soporte y poste.	36
Figura 12.	Resultados generales del proyecto	37
Figura 13.	Resumen de iluminación para camino peatonal 1.....	38
Figura 14.	Iluminancia camino peatonal 1 en sistema de valores	39
Figura 15.	Resumen de iluminación para camino de bicicletas 2.....	40
Figura 16.	Iluminancia camino para bicicletas 2 en sistema de valores	41
Figura 17.	Resumen de resultados de evaluación para calzada 1.	42
Figura 18.	Iluminancia para calzada vehicular en líneas Isolux y sistema de valores	43
Figura 19.	Resumen de resultados de evaluación para camino peatonal 2.....	44
Figura 20.	Tabla de valores iluminancia camino peatonal 2	45
Figura 21.	Ecuación para cálculos VP(CAO), PT y CAUE	48
Figura 22.	Carga proyectada tecnología Sodio VS LED	50
Figura 23.	Consumo de energía proyectado por año.....	50
Figura 24.	Relación costos anuales de energía durante 30 años.....	51
Figura 25.	Costo total de energía acumulado en 30 años.....	51
Figura 26.	Comparación acumulado CI + CAO Sodio VS LED	54

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.	Clases de iluminación para vías vehiculares 18
Tabla 2.	Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclorrutas y andenes adyacentes 18
Tabla 3.	Comparación técnica tecnología Sodio Vs LED 25
Tabla 4.	Cantidad de luminarias por potencia en tecnología Sodio..... 27
Tabla 5.	Cantidad de postes en concreto por altura 27
Tabla 6.	Datos de iluminancia resultado de levantamiento 28
Tabla 7.	Comparación huella de carbono Sodio VS LED 30
Tabla 8.	Análisis de costos Iniciales tecnología Sodio vs LED..... 47
Tabla 9.	Análisis de costos de operación y mantenimiento tecnología Sodio vs LED 47
Tabla 10.	Evaluación financiera del proyecto. 48
Tabla 11.	Variables para cálculos de evaluación financiera del proyecto 49
Tabla 12.	Comparación Carga total y energía anual Sodio VS LED..... 49
Tabla 13.	Comparación Carga total y energía proyectada a 30 años Sodio VS LED 49
Tabla 14.	Punto de equilibrio económico..... 53

Resumen

El presente proyecto surge de la necesidad de un estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha, lo anterior se obtuvo comenzando por la realización del levantamiento de información concerniente a infraestructura existente, posteriormente medir los niveles de iluminación en el área del proyecto a través del luxómetro suministrado por la empresa Sociluz; con la información obtenida a través de la medición se procede con la elaboración del diseño lumínico el cual al ser comparado con la tecnología actual se demuestra la viabilidad técnica y económica de la modernización.

Al realizar la comparación se obtiene como resultado que la instalación de la tecnología LED brinda un mayor índice de reproducción cromática, a la par, brinda una mayor iluminación por un consumo de energía menor lo que se traduce en ahorro de costos de operación.

Palabras clave: Iluminación, Alumbrado Público, diseño lumínico, modernización, LED.

Abstract

This project arises from the need for a technical and economic feasibility study of modernization in public lighting located on Carrera 7 between streets 13 and 22 in Soacha, the above was obtained by collecting information about the existing infrastructure, and subsequent to this, measuring the lighting levels in the project area through the lux meter supplied by the company Sociluz; using the information obtained through the measurement, we proceed with the elaboration of the lighting design, when compared with current technology, it demonstrates the technical and economic viability of modernization.

After making the comparison, the result is that LED technology provides a higher color rendering index, at the same time, it provides greater lighting with less energy consumption, which translates into savings in operating costs.

Keywords: Lighting, Public Lighting, Lighting Design, Modernization, LED.

Introducción

Soacha es un municipio que consta de 398298 habitantes, el cual constaba de 17028 luminarias en el año 2013 y pasó a 20636 luminarias en el año 2021. Durante dicho tiempo el municipio fue objeto de modernización del alumbrado existente en tecnología mercurio a tecnología sodio con el fin de cumplir con el plan URE (Uso Racional De La Energía), sin embargo, con el crecimiento poblacional y desarrollo del municipio, se encuentra la necesidad de modernizar una de las vías más transitadas en Soacha. Tomando en cuenta que el municipio comenzó con la modernización del alumbrado a través del proyecto Transmilenio Fase I el cual cambió el alumbrado público existente en tecnología sodio sobre la autopista sur (carrera 4) entre calle 56 y calle 22 obteniendo una mayor iluminación con mayor IRC (Índice De Reproducción Cromática) y un menor consumo de energía eléctrica, brindando una mayor sensación de seguridad.

A nivel nacional se viene implementando paulatinamente el uso de la tecnología LED debido a su menor consumo energético, lo que se traduce en menores costos de energía y menor impacto ambiental; mayor duración de sus componentes (vs la tecnología sodio que se maneja actualmente en su mayoría) disminuyendo costo de mantenimiento; mayor iluminación lo que brinda mayor seguridad tanto a los usuarios peatonales como a los vehiculares; mayor índice de reproducción cromática lo que genera una mayor sensación de seguridad, adicionalmente es más cómoda visualmente para los usuarios; genera menor contaminación lumínica debido a sus ópticas (lente que distribuye la iluminación en el chip LED), se puede enfocar con precisión el área a iluminar reduciendo el efecto de deslumbramiento.

Antecedentes

Una de las mayores preocupaciones de los gobiernos y entes nacionales es el uso eficiente de los recursos económicos, a su vez, generando un menor impacto en el medio ambiente, razón por la cual, se incrementa el uso de la tecnología en las principales vías del territorio nacional.

En el municipio de Soacha Cundinamarca actualmente se encuentra en funcionamiento el proyecto Alumbrado Público Transmilenio Fase I el cual consta de un total de 646 luminarias en tecnología LED ubicadas sobre la autopista sur (Carrera 4) entre calles 56 y 22, por otra parte, en la ciudad de Bogotá actualmente se está migrando al uso de tecnología LED en reemplazo de las tecnologías Sodio, Halogenuros Metálicos y Halogenuros Metálicos Cerámicos.

Por otro lado, podemos referenciar un artículo de la Alcaldía De Medellín en donde evidencia que ya han tomado la iniciativa de modernizar la ciudad buscando aumentar la seguridad y reducir los consumos de energía. Hasta enero de 2022 se han modernizado 4981 puntos de luminarias en sodio a LED en diferentes espacios públicos de la ciudad, malla vial y barrios.

No solamente alcaldías, empresas privadas han reconocido la mejora innegable que trae esta alternativa en iluminación. La revista semana hace público un artículo titulado “El alumbrado público debe migrar a tecnología led” en donde se expone la necesidad ambiental y en seguridad que tienen los municipios de la ceja y puerto triunfo.

Objetivos

Objetivo general

Elaborar un estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha a la empresa Sociluz.

Objetivos específicos

- Realizar levantamiento de información concerniente a infraestructura existente.
- Medir niveles de iluminación existentes en el área del proyecto a través del luxómetro suministrado por Sociluz.
- Elaborar diseño lumínico que cumpla con los estándares establecidos en el RETIE y RETILAP.
- Elaborar documento en donde se especifican cantidades de obra y memorias de cálculo.
- Comparar costos de administración, operación y mantenimiento del alumbrado en tecnología Sodio con respecto a la tecnología LED.
- Elaborar documento con resultados de estudio de viabilidad técnica y económica de la modernización.

Justificación

Soacha es un municipio de gran desarrollo, cuya expansión social y urbanística se ha notado con el pasar de los años. Con el aumento poblacional y desarrollo urbanístico, se encuentra la necesidad de mejorar la iluminación en los sectores más concurridos, como lo es para el presente caso la zona ubicada sobre la Carrera 7 entre calles 13 y 22, esta zona ha sido objeto de delincuencia común.

Por otra parte, se desea proyectar un ambiente moderno a los usuarios finales (habitantes y visitantes del municipio de Soacha) brindando así una mayor sensación de seguridad y comodidad.

Uno de los mayores problemas de la actual tecnología en uso por el municipio (Tecnología Sodio) es su alto consumo y baja eficiencia lumínica respecto a la tecnología LED (Tecnología Propuesta), con el presente proyecto se pretende demostrar la viabilidad de Modernización del alumbrado público de la zona descrita anteriormente, adicionalmente, los beneficios técnicos y económicos que la iluminación de color blanco entrega.

Mundialmente se habla de uso racional de energía, Colombia no es excepción, dentro del país se encuentra establecido en la ley 697 de 2001, dentro del territorio nacional se encuentran implementando nuevos proyectos en tecnología LED con el fin de mitigar el consumo energético y reducir el impacto al medio ambiente.

Sociluz S.A. E.S.P. es la empresa designada por el municipio de Soacha para la administración, operación y mantenimiento del alumbrado público existente en el municipio, sin embargo, dentro de sus alcances no se encuentra el estudio para modernización; con el presente proyecto se pretende presentar una propuesta de

modernización en donde se argumenta la viabilidad técnica y económica del cambio del tipo de iluminación a una de última generación para una de las principales vías de Soacha.

Metodología

Para la conseguir los objetivos planteados anteriormente se propone una ejecución por fases como se describe a continuación:

Fase 1: Levantamiento de información de infraestructura existente, toma de medidas de luminancia sobre el sector objetivo del proyecto.

La información de la infraestructura existente se obtendrá de la base de datos que actualmente posee la compañía, por otra parte, la toma de medidas de luminancia se realizará con el luxómetro suministrado por la empresa bajo acompañamiento de una cuadrilla operativa (por cuestiones de seguridad).

Fase 2: Diseño lumínico y simulación de proyecto con luminarias en tecnología LED disponibles en el mercado colombiano cumpliendo los estándares exigidos en el RETIE y RETILAP.

Con ayuda de un software para diseño de iluminación (Dialux EVO) el cual es libre y gratuito. Importando los archivos de extensión “.ies” de los fabricantes de luminarias con presencia en el país los cuales son suministrados a través de sus páginas web oficiales para su uso gratuito.

Fase 3: Cotización y elaboración de propuesta económica presentando los respectivos beneficios para la concesión y el Municipio.

Se proyecta realizar la cotización de los elementos necesarios para la modernización de la zona proyectada a los actuales proveedores de la compañía, con el fin de presentar la propuesta económica.

Fase 4: Presentación de los resultados obtenidos a la Universidad Antonio Nariño a través del presente documento.

1. ALUMBRADO PÚBLICO

El alumbrado público es la prestación del servicio de iluminación en vías, carreteras, parques y lugares de circulación pública, el cual debe ser garantizado por entes municipales, regionales y gubernamentales. No solamente la operación sino administración y mantenimiento. Este servicio se presta a través de luminarias y postes localizados estratégicamente acorde a la necesidad del área a iluminar.

1.1. Parámetros para diseñar un proyecto de alumbrado público

1.1.1. Levantamiento de información de infraestructura

El origen del proyecto parte del análisis de infraestructura, se debe determinar las luminarias existentes, postes, transformadores, redes eléctricas, canalizaciones, etc. Se debe tener claridad sobre la cantidad de luminarias, postes y características de los mismos.

De existir algún tipo de modificación arquitectónica, geográfica o cualquier tipo de alteración en la infraestructura, el diseñador debe dejarlo indicado. De la misma forma si se realizan cambios en las potencias de las luminarias.

1.1.2. Diseño del proyecto

Los proyectos de alumbrado público deben seguir los lineamientos establecidos en el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público para selección de luminarias acorde al tipo de espacio a iluminar como son vías peatonales, vehiculares, ciclorrutas, parques, etc.; también indica que se debe tener en cuenta factores como el flujo vehicular, flujo peatonal, velocidad de circulación; así mismo, da la libertad al diseñador en su criterio para tener en cuenta factores cualitativos como importancia de la vía y seguridad.

Dicho lo anterior, el primer paso para el diseño la clase de iluminación requerida de acuerdo con el tipo de vía como se describe en la tabla 1.

Tabla 1.
Clases de iluminación para vías vehiculares

Clase de iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
		Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
M1	Autopistas y carreteras	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas.	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M3	Vías principales y ejes viales.	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M4	Vías primarias o colectoras	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

(RETILAP, 2010)

Posteriormente se verifican los requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclorrutas y andenes adyacentes como se presenta en la tabla 2

Tabla 2.
Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclorrutas y andenes adyacentes

Clase de iluminación	Zona de aplicación				
	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio L_{prom} (cd/m ²) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad U_o Mínimo	Incremento de umbral TI % Máximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_l Mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M1	2,0	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N.R	N.R
M5	0,6	0,4	15	N.R	N.R

(RETILAP, 2010)

Con la información anteriormente citada se debe seleccionar la propuesta de luminaria que cumpla con los criterios requeridos del proyecto. Esta propuesta de luminaria

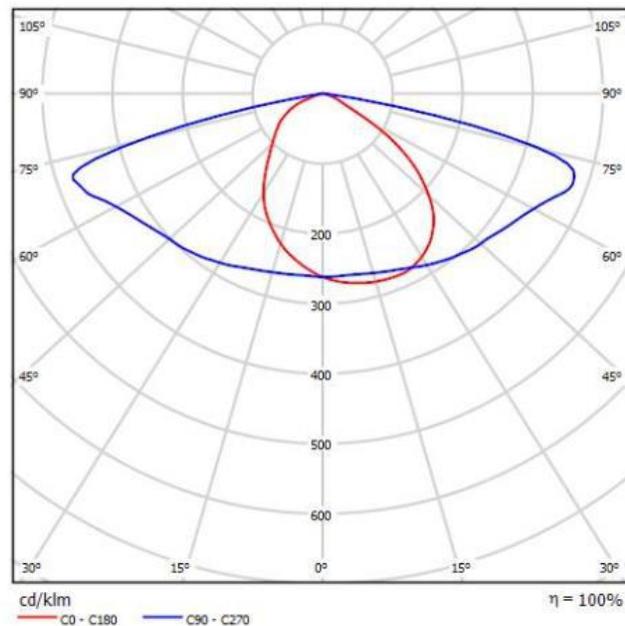
debe estar certificada y se debe mencionar su marca. El diseñador debe incluir el diagrama de distribución fotométrico.

1.2. Diagrama de distribución fotométrica

El diagrama de distribución fotométrica corresponde a la representación gráfica del comportamiento de la luz en el conjunto de carcasa, fuente luminosa, reflector y refractor (en los casos que aplique); consta de dos valores importantes como son la distribución en el eje Y (línea roja) con la cual se representa la iluminación enfocada hacia el suelo o hacia el cielo, por otra parte, se encuentra la distribución en el eje X (línea azul) que nos indica el ángulo de enfoque de la luz a lo ancho de la luminaria como se muestra en la figura 1.

Figura 1.

Distribución fotométrica suministrada en datasheet de luminaria Sylvania LED STREET 100-200W NW URBAN 7P P23814.



(Sylvania, 2022)

1.3. Conceptos básicos

Actualmente nos encontramos en el mercado con diversas tecnologías de iluminación como son el vapor de Sodio, Halógenos, Fluorescente, vapor de Mercurio, Halogenuros Metálicos y LED los cuales cuentan con diversas características de acuerdo con su aplicación como son eficiencia lumínica, temperatura de color, índice de reproducción cromática, vida útil, sus características fotométricas, como se definen a continuación:

1.3.1. Eficacia lumínica

Es valor resultante de la relación entre el flujo luminoso y la potencia de una fuente luminosa la cual se mide en Lm/W.

1.3.2. Índice de Reproducción Cromática (IRC)

Es el índice que representa la exactitud con la que se muestran los colores en los objetos reflejados.

1.3.3. Temperatura de color

Es el color emitido por un cuerpo negro al llegar a la temperatura descrita en Kelvin.

1.3.4. Vida útil

Tiempo en horas el cual tarda una fuente lumínica en disminuir su flujo luminoso al 70%.

1.3.5. Índice de protección (IP)

El índice de protección (International Protection Code) es un indicador que consta de dos números consecutivos los cuales tiene como significado: El primer dígito corresponde a la protección contra ingreso de partículas sólidas los cuales van desde grado 0 (sin protección)

hasta el grado 6 (Totalmente protegido contra partículas); el segundo dígito corresponde a la protección contra el ingreso de agua el cual va desde el 0 (sin protección) hasta grado 6 (inmersión bajo presión).

1.3.6. Grado de Protección contra golpes (IK)

El grado protección contra impactos posee dos dígitos los cuales van desde el IK00 (sin protección) hasta IK10 (20J de energía de impacto).

1.3.7. Luminancia Promedio (L_{Prom}):

Es la medida promedio en Cd/m^2 tomada de los diferentes puntos en un área determinada, la cual debe ser en medio de 2 luminarias. Esta medida puede considerarse como la percibida por el ojo humano.

1.3.8. Iluminancia Promedio (E_{Prom}):

Es el valor promedio en luxes tomados de la cantidad de luz medidos en diferentes puntos reflejados sobre la vía.

1.3.9. Factor De Uniformidad (U_o):

Es la relación entre el valor mínimo de iluminancia e iluminancia promedio que se reflejan sobre la vía.

1.3.10. Incremento Del Umbral (T_i):

Es el valor en % de deslumbramiento o pérdida de visibilidad causado por la luminaria en el observador.

1.4. Métodos de Medición de luminosidad

Existen diversos métodos para medir la luminosidad en un área determinada. El reglamento técnico de iluminación y alumbrado público define principalmente dos métodos como:

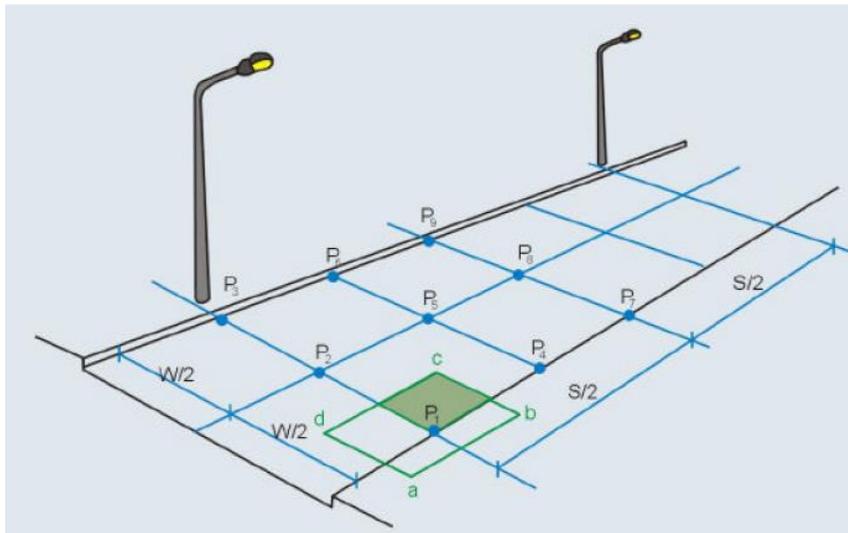
- Método Europeo de los nueve puntos.
- Método del coeficiente de utilización.

Para el presente proyecto se opta por la utilización del método Europeo de nueve puntos el cual se describe a continuación:

Método Europeo de nueve puntos

El método calcula la iluminancia promedio que existe en un área definida, dicho método consiste en dividir un área formada por un rectángulo de largo $S/2$ (correspondiente a la mitad de la distancia existente entre los postes) y ancho W (correspondiente al ancho de la vía a iluminar) como se muestra en la figura a continuación.

Figura 2.
530.2.1 a. Cálculo de la iluminancia promedio método europeo de los 9 puntos.



(Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Posteriormente se procede a dividir el área del rectángulo en cuatro (4) partes iguales de los cuales se tomará como referencia los vértices de dichos rectángulos como se observa en la Figura 1.

Una vez obtenidos los datos correspondientes a las iluminancias P1, P2, P3... P9 se procede a aplicar la Ecuación descrita en la figura 2. Es importante aclarar que las luminancias P1, P2, P3... P9 equivalen a E1, E2, E3... E9 respectivamente.

Figura 3.

Ecuación para cálculo de iluminancia promedio a través del método europeo de nueve puntos.

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2 \times (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4 \times E_5]$$

(Ministerio de Minas y Energía, 2010)

1.5. Software Para Diseño De Iluminación

El reglamento técnico de iluminación y alumbrado público en su numeral 520.2 indica que es válido utilizar software para el diseño fotométrico con el fin de realizar la evaluación técnica y financiera del proyecto, uno de los software más conocidos para realizar diseños de iluminación es Dialux, el cual dentro de sus ventajas principales se encuentra su facilidad de uso libre y gratuito para su descarga. El software Dialux permite realizar simulaciones con diferentes marcas a través de archivos con extensión “.ies” los cuales son suministrados por los fabricantes, también permite documentar los resultados del diseño para ser anexado a las memorias de cálculo.

1.6. Dialux

Es un software utilizado para la simulación de iluminación el cual realiza cálculos necesarios para diseño de proyectos de iluminación, dentro de sus cálculos se encuentran el factor de uniformidad, luminancia mínima, luminancia media, iluminancia mínima, iluminancia media, incremento de umbral; para el cálculo de los datos anteriormente descritos se requiere ingresar mínimo los valores descritos a continuación:

- Altura de montaje de las luminarias en metros.
- Distancia entre postes en metros, lo cual es equivalente a la distancia entre las luminarias.
- Disposición de las luminarias (Unilateral arriba, unilateral abajo, bilateral, bilateral en alternancia).
- Archivo con los datos de distribución fotométrica (suministrado por el fabricante).
- Ancho de vía en metros.
- Ancho de ciclorruta en metros.
- Ancho de andén en cada costado en metros.
- Longitud del soporte de la luminaria en metros.
- Inclinación del soporte de la luminaria en grados.
- Distancia entre poste y la vía en metros.

El software arroja del ítem solicitados en la Tabla 2. Para su análisis.

1.7. Comparación técnica de tecnología Sodio Vs LED

Las tecnologías con mayor eficiencia lumínica actualmente son Vapor de Sodio y LED por lo cual, a continuación, se presenta una comparación técnica:

Tabla 3.
Comparación técnica tecnología Sodio Vs LED

Tecnología	Vapor de Sodio Alta Presión	Diodo Emisor de Luz (LED)	Conclusión
Tipo de emisor	Bombillo con vulvo de vidrio	Chip en silicona	La tecnología LED es mas resistente a impactos para los casos en los que existe vandalismo
Eficiencia (Lm/W)	93	138	La tecnología led posee un 67.39% mas de eficiencia respecto a la tecnología sodio
Indice de reproducción cromática	25	>75	Un mayor IRC brinda una mayor comodidad al usuario al reproducir mejor los colores
Temperatura del Color (K)	1900 - 2200	4000	Una mayor temperatura del color brinda colores mas blancos y cómodos para el usuario
Vida Útil en horas	30000 - 35000	> 100000	mayor vida útil reduce costos de operación y mantenimiento
Pérdidas Balasto o Driver	29 W	<1%	mayor eficiencia reduce costos de operación

(Elaboración propia, 2022)

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. Alumbrado Público en Soacha

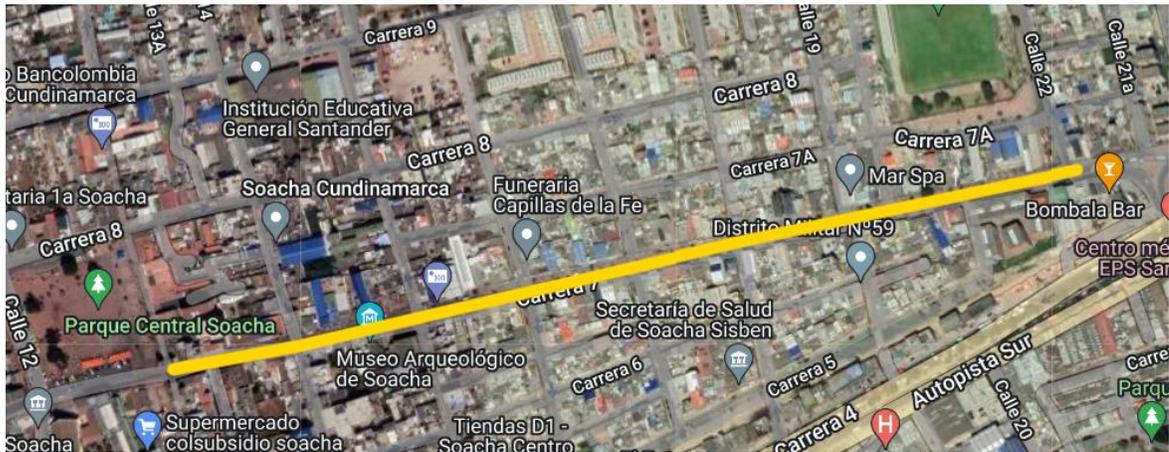
Soacha es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca colindante con la capital del país. Dicho municipio consta de un área de 184.45Km² y consta de una población de 398.298 habitantes de acuerdo con el indicador de población de la alcaldía municipal.

Actualmente el municipio de Soacha Cundinamarca cuenta con alumbrado público en el área limitada entre las calles 13 y 22 sobre la carrera 7 el cual se encuentra en tecnología Sodio (Luz Amarilla), dicha iluminación cuenta con más de 15 años de antigüedad. Basados en la ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, por eso el proyecto se enfoca en aumentar la eficiencia del alumbrado público mejorando así la iluminación y disminuyendo el consumo energético.

Para el desarrollo del proyecto se basó en la información establecida en el Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público en su sección 200, 500 y 510 en

el cual se especifican los lineamientos para diseño de alumbrado público de acuerdo con el uso y área a iluminar.

Figura 4.
Mapa de área del proyecto



2.2. Infraestructura Existente

Después de realizar un exhaustivo trabajo de campo sobre la Carrera 7 entre calles 13 y 22 se obtienen las características de los principales elementos instalados como son: luminarias (cantidad, potencia y tecnología), postes (altura y material) y redes (calibre, tipo de uso y material); así mismo se encontró que los postes instalados cuentan con interdistancias promedio de 30 metros y poseen redes de uso mixto (uso domiciliario y alumbrado público).

Tabla 4.**Cantidad de luminarias por potencia en tecnología Sodio**

Potencia (W)	Cantidad de Luminarias
70	15
250	6
400	23
Total general	44

(Elaboración propia, 2022)**Tabla 5.****Cantidad de postes en concreto por altura**

ALTURA POSTE	Cantidad
10	23
12	6
14	15
Total general	44

(Elaboración propia, 2022)**2.3. Clase De Iluminación Asignada**

Siguiendo los lineamientos del reglamento técnico de iluminación y alumbrado público para clasificación de vías (Tabla 1) se determina que la vía Carrera 7 también llamada Julio Cesar Turbay Ayala se clasifica como vía tipo M3 debido a que es una vía principal con un flujo vehicular entre 250 y 500 vehículos por hora; por tanto, para el tipo de vía M3 (Tabla 2) se determina que el nivel de iluminación para la calzada vehicular es de 1.2 cd/m^2 .

2.4. Iluminancia Existente Y Cálculo De Iluminancia Promedio Existente

Para el levantamiento de la información de iluminación existente se aplicó el método europeo de los nueve puntos, los cuales fueron previamente marcados en las medidas recomendadas por el RETILAP que corresponden a un área de (17.5 m x 13 m). Se procede a tomar la medición programando el luxómetro a la máxima medida, posteriormente se posiciona el fotosensor sobre el suelo y se despeja el área del personal cercano para no alterar

la medida, repitiendo este procedimiento con los 8 puntos restantes se obtiene como resultado los datos de iluminancia como se describen en la tabla a continuación.

Tabla 6.
Datos de iluminancia resultado de levantamiento

metros	0	8.75	17.5
0	34.2	11.7	7.2
6.5	13.4	12.3	5.1
13	10.9	7.8	4.22

Iluminancia en Lx

(Elaboración propia, 2022)

Aplicando la Ecuación descrita en la Figura 3. para cálculo de iluminancia promedio a través del método europeo de nueve puntos se obtiene una iluminancia media de 11.35 Lx encontrando que no cumple con los requisitos mínimos de iluminación para el tipo de vía M3 (mínimo requerido 12 Luxes de acuerdo con lo descrito en la tabla 2.

2.5. Características Luminaria Seleccionada

Sylvania es una marca reconocida internacionalmente por su trayectoria en iluminación exterior e interior, actualmente tiene representación en Colombia lo que brinda un rápido acceso a sus productos, información técnica y repuestos; para el presente caso con base en los resultados obtenidos en la simulación con el software Dialux Evo se selecciona la luminaria referencia LED STREET 100-200W NW URBAN 7P P23814 la cual en su exterior posee un chasis fabricado en aluminio inyectado lo que ayuda a tener un menor peso total y una mayor conductividad térmica mejorando la refrigeración del chip LED.

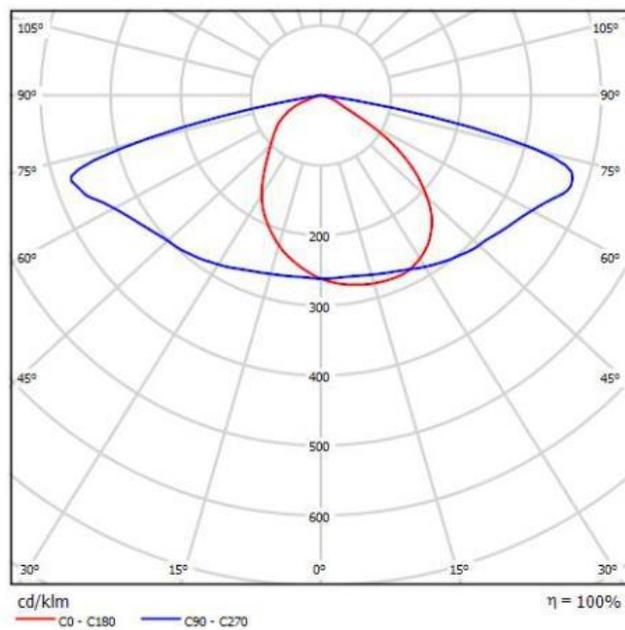
En su interior cuenta con 258 chips LED tipo SMD (diodo montado en superficie epoxi) que en conjunto con su módulo obtiene una eficacia de 138 lm/W; para el presente caso se utiliza la configuración de 100W (ajustando el módulo a 2528mA), con una

Temperatura de color de 4000K y un Índice de Reproducción Cromática >70 lo que se traduce en una reproducción parcial de los colores, la luminaria cuenta con un grado de protección IP66 lo que se traduce en hermeticidad al ingreso de polvo y protección contra chorros directos a alta presión, también, posee un grado de protección contra impactos IK08 para el caso del conjunto óptico e IK09 para su conjunto eléctrico.

Respecto a sus características fotométricas como se observa en la Figura 4. Distribución fotométrica suministrada en datasheet de luminaria Sylvania LED STREET 100-200W NW URBAN 7P P23814. su distribución brinda un gran ángulo de cobertura lateral focalizado disminuyendo la contaminación lumínica.

Figura 5.

Distribución fotométrica suministrada en datasheet de luminaria Sylvania LED STREET 100-200W NW URBAN 7P P23814.



(Sylvania, 2020)

2.6. Medio Ambiente

Actualmente una de las preocupaciones mundiales es la huella de carbono dejada por el ser humano, al crecer la población se busca disminuir las emisiones haciendo más eficientes los elementos que usamos a diario, por lo cual es importante mencionar que uno de los enfoques importantes del proyecto es la disminución de la huella de carbono, de acuerdo con la Unidad de Planeación Minero Energética se estiman emisiones de 0.126 ton/MWh; para la presente propuesta se proyecta una disminución de 5.25 ton de CO₂ anualmente como se presenta a continuación.

Tabla 7.
Comparación huella de carbono Sodio VS LED

Huella de Carbono			
DESCRIPCIÓN	SODIO	LED	Diferencia Sodio - LED
Toneladas de CO₂ por año	7.67	2.43	5.25
Toneladas de CO₂ en 30 años	230.23	72.85	157.39

(Elaboración propia, 2022)

3. INFORME DE RESULTADOS SIMULACIÓN DIALUX EVO

Como resultado del informe generado en el aplicativo Dialux Evo se genera una primer página con el nombre del proyecto y una breve descripción como se presenta en la figura 6, con dicha figura se da apertura al capítulo 3.

Figura 6.
Portada reporte Dialux Evo



Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

Trabajo Integral de Grado para optar por el título de Ingeniero Electromecánico

3.1. Informe de luminaria

Figura 7.
Listado de luminarias Dialux Evo

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

DIALux

Lista de luminarias

Φ _{total} 222376 lm		P _{total} 1606.4 W		Rendimiento lumínico 138.4 lm/W		
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
8	SYLVANIA	LED STREET LIGHT URBAN 200W		200.8 W	27797 lm	138.4 lm/W

En la figura 7 se presenta el listado generado por el software Dialux en donde presenta las características principales de las luminarias ingresadas y los datos con los cuales se realizó la simulación para el caso de diseños con más de una referencia de luminaria; por otra parte, en la Figura 8 se presenta la ficha técnica de la luminaria para su versión principal; dicha luminaria posee configuraciones específicas de potencia y flujo luminoso manteniendo su temperatura de color e índice de reproducción cromático. Para el presente caso se opta por la configuración de 100W - 13800lm como se describe en la Figura 9

Figura 8.

Ficha técnica general de luminaria Sylvania LED Street Light Urban

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

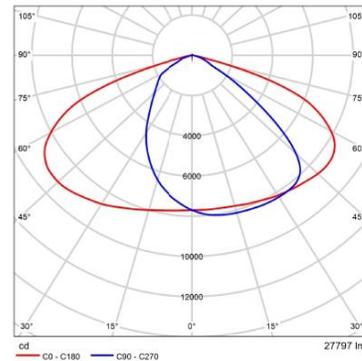
DIALux

Ficha de producto

SYLVANIA -



N° de artículo	LED STREET LIGHT URBAN 200W
P	200.8 W
$\Phi_{Luminaria}$	27797 lm
Rendimiento lumínico	138.4 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

Figura 9.

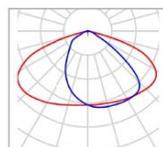
Ficha técnica luminaria Sylvania en configuración 100W

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W

Resumen (hacia EN 13201:2015)



Fabricante	SYLVANIA	P	100.0 W
N° de artículo	LED STREET LIGHT URBAN 200W	$\Phi_{Luminaria}$	13800 lm
Lámpara	definido por el usuario		

3.2. Disposición y medidas de área

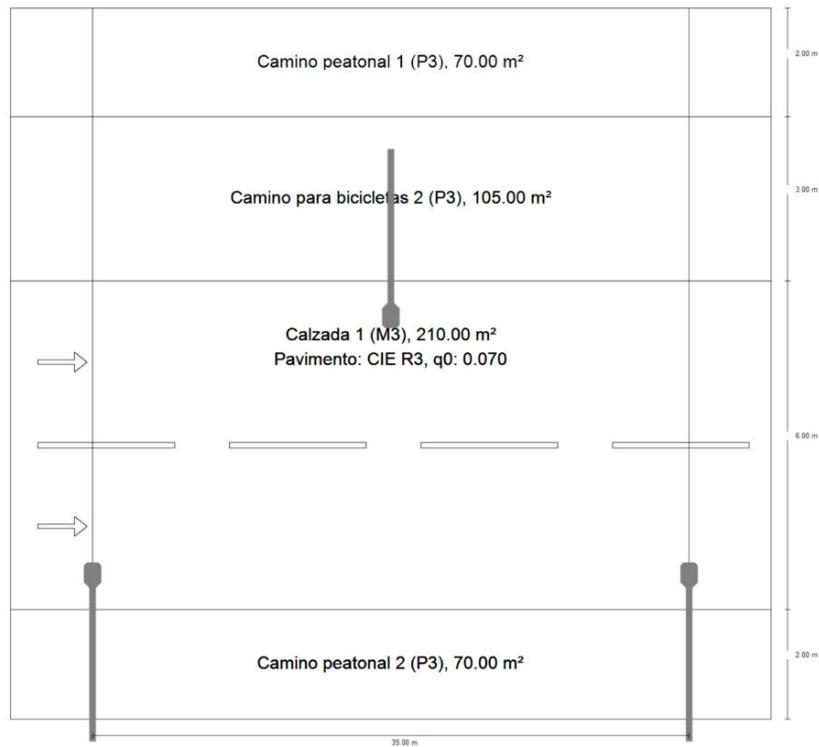
Figura 10.
Disposición de luminarias y medidas del área

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W

Resumen (hacia EN 13201:2015)



3.3. Configuración de postes y soportes

Figura 11.
Parámetros de soporte y poste.

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

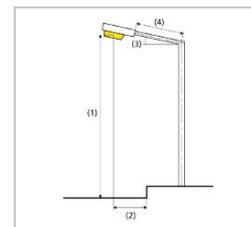
DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W

Resumen (hacia EN 13201:2015)

Sylvania Bilateral Alternancia (bilateral en alternancia)

Distancia entre mástiles	35.000 m
(1) Altura de punto de luz	10.000 m
(2) Saliente del punto de luz	0.600 m
(3) Inclinación del brazo	0.0°
(4) Longitud del brazo	3.000 m
Horas de trabajo anuales	4000 h: 100.0 %, 100.0 W
Consumo	5800.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidad lumínica máx Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	≥ 70°: 269 cd/klm ≥ 80°: 20.6 cd/klm ≥ 90°: 0.00 cd/klm
Clase de potencia lumínica Los valores de intensidad lumínica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia lumínica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.	G*6
Clase de índice de deslumbramiento	D.6



3.4. Resumen resultados de simulación.

Figura 12.
Resultados generales del proyecto

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W

Resumen (hacia EN 13201:2015)

Resultados para campos de evaluación

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Camino peatonal 1 (P3)	E_m	17.10 lx	[7.50 - 11.25] lx	✗
	E_{min}	13.83 lx	≥ 1.50 lx	✓
Camino para bicicletas 2 (P3)	E_m	23.43 lx	[7.50 - 11.25] lx	✗
	E_{min}	18.80 lx	≥ 1.50 lx	✓
Calzada 1 (M3)	L_m	1.68 cd/m ²	≥ 1.00 cd/m ²	✓
	U_o	0.81	≥ 0.40	✓
	U_l	0.85	≥ 0.60	✓
	TI	4 %	≤ 15 %	✓
	$R_B^{(1)}$	0.82	-	
Camino peatonal 2 (P3)	E_m	24.61 lx	[7.50 - 11.25] lx	✗
	E_{min}	20.50 lx	≥ 1.50 lx	✓

(1) Informativo, no es parte de la evaluación

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

Resultados para indicadores de eficiencia energética

	Tamaño	Calculado	Consumo
Carrera 7 Sylvania LED 100W	D_p	0.018 W/lx*m ²	-
Sylvania Bilateral Alternancia (bilateral en alternancia)	D_e	1.8 kWh/m ² año,	800.0 kWh/año

En el resumen presentado en la figura 12, el software nos indica que con los parámetros ingresados al software se cumple con los requisitos mínimos para diseño del alumbrado público en las zonas como se describe puntualmente para cada sección del diseño.

3.4.1. Resumen resultados de simulación camino peatonal 1

Figura 13.

Resumen de iluminación para camino peatonal 1.

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

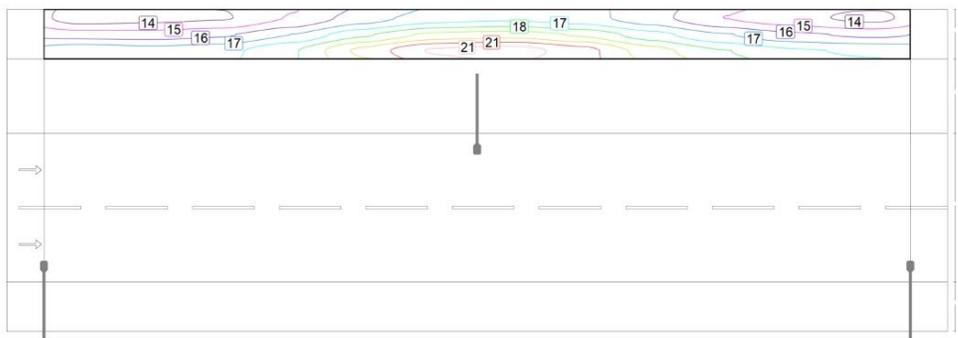
DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W

Camino peatonal 1 (P3)

Resultados para campo de evaluación

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Camino peatonal 1 (P3)	E_m	17.10 lx	[7.50 - 11.25] lx	✗
	E_{min}	13.83 lx	≥ 1.50 lx	✓



Valor de mantenimiento iluminación horizontal [lx] (Líneas Isolux)

La figura 13 presenta el resumen de los resultados obtenidos en la simulación para el caso del camino peatonal 1, en el resumen se encuentra que la medida de luminancia mínima se encuentra en 13.83lx siendo superior a la medida de luminancia mínima exigida

por el RETILAP (1.5lx), por otra parte, muestra que la medida de luminancia media se encuentra en 17.10lx, un valor por encima de los requisitos mínimos. Para los casos típicos se utiliza una iluminación menor (entre 7.5lx y 11.25lx), pero, para el caso particular se logra obtener una mayor iluminancia (17.10lx) dado que es una vía de alta importancia para el municipio.

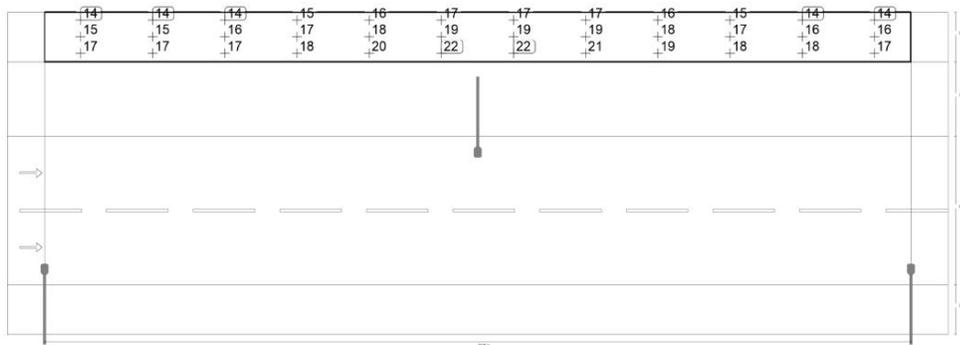
En la figura 14 se especifica la iluminancia en sistema de valores

Figura 14.
Iluminancia camino peatonal 1 en sistema de valores

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W
Camino peatonal 1 (P3)



Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Sistema de valores)

m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542
12.667	13.83	13.97	14.16	15.11	16.23	17.05	17.27	16.94	16.09	15.01	14.47	13.99
12.000	15.49	15.45	15.71	16.64	18.11	19.25	19.48	18.89	17.73	16.67	15.99	15.66
11.333	17.14	16.94	17.18	18.18	20.04	21.54	21.82	20.92	19.38	18.25	17.53	17.32

Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Tabla de valores)

	E_m	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2
Valor de mantenimiento iluminancia horizontal	17.1 lx	13.8 lx	21.8 lx	0.81	0.63

3.4.2. Resumen resultados de simulación camino para bicicletas 2

Figura 15.

Resumen de iluminación para camino de bicicletas 2.

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

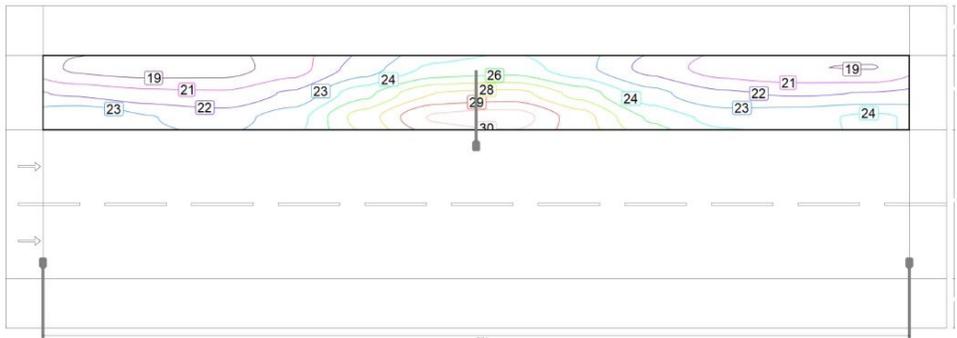


Carrera 7 Sylvania LED 100W

Camino para bicicletas 2 (P3)

Resultados para campo de evaluación

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Camino para bicicletas 2 (P3)	E_m	23.43 lx	[7.50 - 11.25] lx	✗
	E_{min}	18.80 lx	≥ 1.50 lx	✓



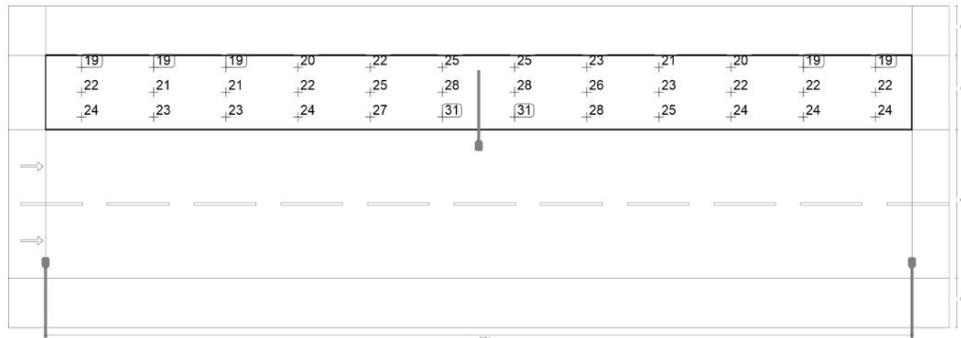
Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Lineas Isolux)

Figura 16.
Iluminancia camino para bicicletas 2 en sistema de valores

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W
Camino para bicicletas 2 (P3)



Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Sistema de valores)

m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542
10.500	19.18	18.80	18.88	20.10	22.43	24.59	24.94	23.42	21.44	20.02	19.44	19.38
9.500	21.65	20.97	20.80	22.04	25.14	27.95	28.35	26.23	23.48	22.03	21.70	21.88
8.500	24.22	23.14	22.53	23.79	27.30	30.58	30.99	28.48	25.31	23.85	23.98	24.47

Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Tabla de valores)

	E_m	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2
Valor de mantenimiento iluminancia horizontal	23.4 lx	18.8 lx	31.0 lx	0.80	0.61

Como se presenta en la figura 15, los valores de iluminancia mínima e iluminancia media se encuentran por encima de los requisitos mínimos; para el caso de iluminancia media se encuentra en 23.43lx cuando lo mínimo requerido es 7.5lx, por otra parte, los valores de iluminancia mínimos se encuentran en 18.8lx, muy por encima de los 1.5lx exigidos por el reglamento.

3.4.3. Resumen resultados de simulación Calzada 1

Una parte fundamental del proyecto es la iluminación de la calzada vehicular

Figura 17.
Resumen de resultados de evaluación para calzada 1.

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W

Calzada 1 (M3)

Resultados para campo de evaluación

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (M3)	L_m	1.68 cd/m ²	≥ 1.00 cd/m ²	✓
	U_o	0.81	≥ 0.40	✓
	U_l	0.85	≥ 0.60	✓
	TI	4 %	≤ 15 %	✓
	$R_B^{(1)}$	0.82	-	-

La figura 17 presenta los resultados de luminancia encontrando 1.68 cd/m² como resultado de la simulación, cumpliendo con los 1.2 cd/m² exigidos por el RETILAP, el factor de uniformidad general y longitudinal se encuentra por encima de lo requerido, lo que se traduce en mayor comodidad visual para los usuarios. El factor de incremento de umbral se encuentra por debajo del 10% el cual es el máximo permitido por el RETILAP.

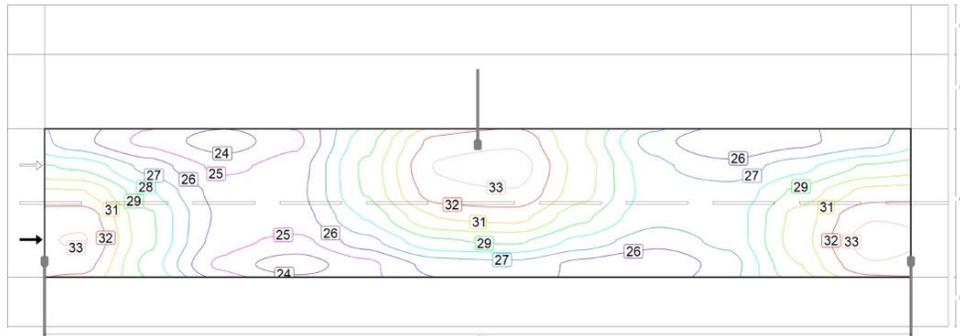
Por otra parte, se puede apreciar en la figura 18 la distribución de la iluminancia en la calzada vehicular tanto en líneas Isolux como en sistema de valores, lo que ayuda a tener una perspectiva gráfica de los resultados esperados de la iluminación.

Figura 18.
Iluminancia para calzada vehicular en líneas Isolux y sistema de valores

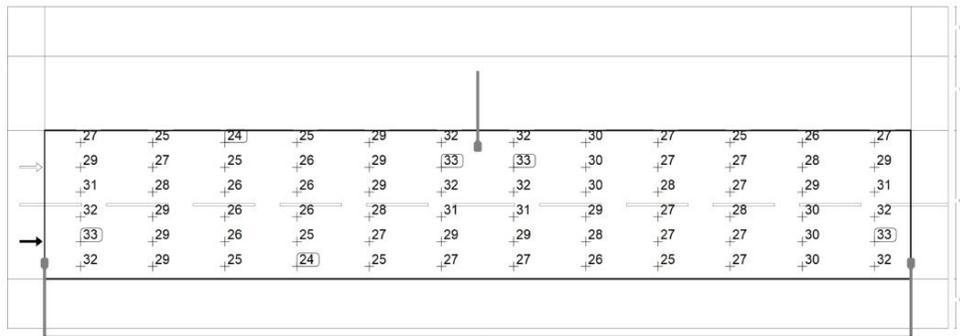
Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.



Carrera 7 Sylvania LED 100W
Calzada 1 (M3)



Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Lineas Isolux)



Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Sistema de valores)

3.4.4. Resumen resultados de simulación camino peatonal 2

Figura 19.

Resumen de resultados de evaluación para camino peatonal 2.

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.

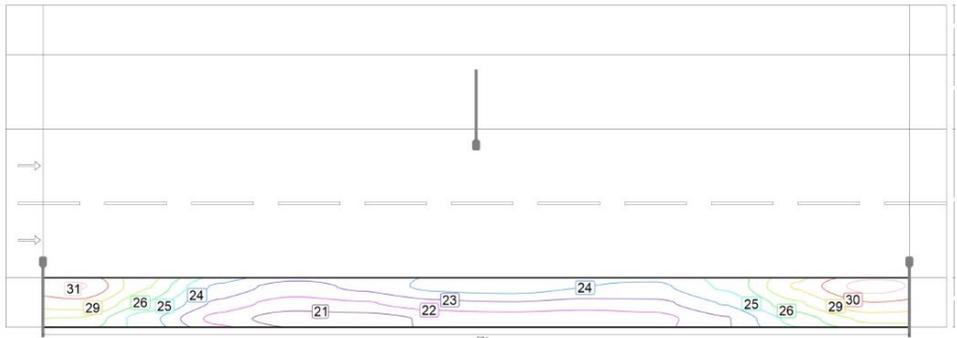
DIALux

Carrera 7 Sylvania LED 100W

Camino peatonal 2 (P3)

Resultados para campo de evaluación

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Camino peatonal 2 (P3)	E_m	24.61 lx	[7.50 - 11.25] lx	✗
	E_{min}	20.50 lx	≥ 1.50 lx	✓



Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Líneas Isolux)

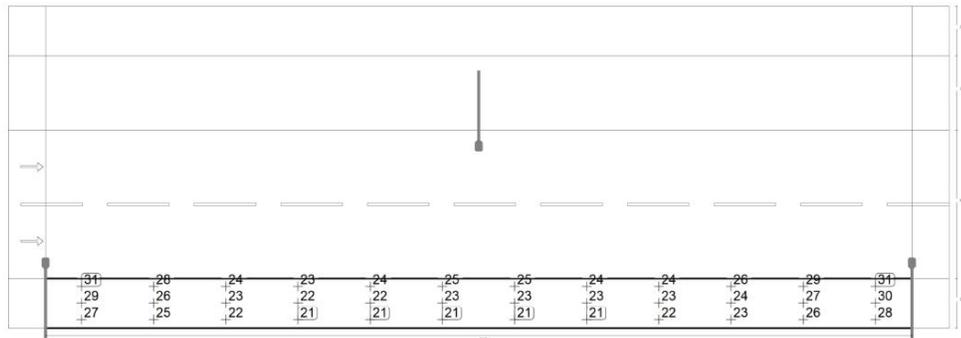
La figura 19 resume los resultados de la simulación realizada al camino peatonal 2, en dicho resumen se observa una iluminancia media mayor a 7.5lx y una iluminancia mínima de 20.50lx cumpliendo con los requisitos del RETILAP, los valores elevados de iluminancia brindan una mayor sensación de seguridad para los peatones y mejorando el aspecto de una de las vías principales del municipio.

Figura 20.
Tabla de valores iluminancia camino peatonal 2

Estudio de viabilidad técnica y económica de modernización del alumbrado público ubicado sobre la carrera 7 entre calles 13 y 22 del municipio de Soacha.



Carrera 7 Sylvania LED 100W
Camino peatonal 2 (P3)



Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Sistema de valores)

m	1.458	4.375	7.292	10.208	13.125	16.042	18.958	21.875	24.792	27.708	30.625	33.542
1.667	30.96	27.60	24.05	22.80	23.51	24.65	24.91	24.35	24.14	25.59	28.80	31.37
1.000	29.34	26.30	22.94	21.68	22.05	22.92	23.17	22.84	22.96	24.42	27.44	29.73
0.333	27.44	24.71	21.73	20.50	20.62	21.23	21.45	21.33	21.71	23.15	25.78	27.83

Valor de mantenimiento iluminancia horizontal [lx] (Tabla de valores)

	E_m	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2
Valor de mantenimiento iluminancia horizontal	24.6 lx	20.5 lx	31.4 lx	0.83	0.65

4. EVALUACIÓN DE COSTOS

La tecnología sodio existente en el municipio lleva mas de 15 años instalada, durante dicho lapso de tiempo la carrera 7 sufrió modificaciones (como la implementación de ciclovia) dejando la iluminación insuficiente. Por otra parte, el desgaste en los componentes de la luminaria como lo son el refractor y reflector han disminuido su calidad, lo que resulta en una baja eficiencia lumínica. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado es importante aclarar que la evaluación se realiza con las luminarias de sodio existentes sin tener en cuenta la instalación de luminarias nuevas.

Los fabricantes actualmente indican que debido a la migración e implementación mundial de la tecnología LED, se reducirá progresivamente la fabricación de componentes para luminarias en tecnología sodio, lo cual, genera un incremento en el valor de los componentes y sus mantenimientos.

De acuerdo con lo descrito en el reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público en su sección 610.7 se procede a realizar el cálculo de los costos del proyecto comenzando por los costos iniciales o costos de inversión que comprenden las luminarias, soportes, postes, cables para alimentación de la luminaria y/o accesorios en caso necesario; es importante aclarar que para el presente caso se utiliza la infraestructura existente como son postes, sistema de puesta a tierra y redes de uso mixto.

Teniendo en cuenta la información suministrada por fabricantes de luminarias en tecnología Sodio y tecnología LED, se realiza la comparación con precios actuales del mercado para: costos iniciales del proyecto, costos de operación y mantenimiento como se presenta en la tabla 5. Análisis de costos Iniciales tecnología Sodio vs LED. y tabla 6

Análisis de costos de operación y mantenimiento tecnología Sodio vs LED; dichos precios incluyen transporte, la mano de obra se encuentra incluida como el primer mantenimiento.

Tabla 8.
Análisis de costos Iniciales tecnología Sodio vs LED.

EVALUACION FINANCIERA DEL PROYECTO								
Costos Iniciales								
Empresa	Roy Alpha Propuesta Sodio				Sylvania Propuesta LED			
Descripción	Potencia (W)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)	Potencia (W)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)		
Luminarias	70	15	\$ 257,000	100	44	\$ 1,046,160		
	250	6	\$ 453,000	-	-	-		
	400	23	\$ 453,000	-	-	-		
	Total luminarias	44	\$ 16,992,000	Total luminarias	44	\$ 46,031,040		
Soportes	Descripción	Longitud (m)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)	Norma del Soporte	Longitud (m)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)
	Norma ET832 brazo sencillo 3/4"	1.2	15	\$ 231,455	Norma ET832 brazo sencillo 1.5"	3	44	\$ 378,151
	Norma ET832 brazo sencillo 1.5"	1.5	26	\$ 302,521	-	-	-	-
	Total Soportes		41	\$ 11,337,371	Total Soportes		44	\$ 16,638,655
Cable BT	Calibre	Material	Cantidad (m)	Valor Unitario sin IVA (\$)	Calibre	Material	Cantidad (m)	Valor Unitario sin IVA (\$)
	3X14AWG THW	Cobre	98	\$ 5,883	3X14AWG THW	Cobre	176	\$ 5,883
	Total Soportes		98	\$ 576,534	Total Soportes		176	\$ 1,035,408
Costo total Propuesta Sodio			\$ 28,905,905	Costo total Propuesta LED			\$ 63,705,103	

Tabla 9.
Análisis de costos de operación y mantenimiento tecnología Sodio vs LED

EVALUACION FINANCIERA DEL PROYECTO									
Costos de Operación y Mantenimiento									
Empresa	Roy Alpha Propuesta Sodio				Sylvania Propuesta LED				
Descripción	Potencia (W)	Vida Útil (Años)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)	Potencia (W)	Vida Útil (Años)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)	
Balasto / Driver	70	6	15	\$ 184,260	100	12	44	\$ 241,800	
	250	6	6	\$ 237,810	-	-	-	-	
	400	6	23	\$ 225,000	-	-	-	-	
	Total Cambio Balastos		44	\$ 9,365,760	Total Cambio Driver		44	\$ 10,639,200	
	Total Costo Anual Promedio			\$ 1,560,960	Total Costo Anual Promedio			\$ 886,600	
Bombillo / Chip LED	70	3.5	15	\$ 143,562	100	22	44	\$ 492,400	
	250	3.5	6	\$ 162,840	-	-	-	-	
	400	3.5	23	\$ 151,567	-	-	-	-	
	Total Cambio Bombillos		44	\$ 6,616,511	Total Cambio Chips LED		44	\$ 21,665,600	
	Total Costo Anual Promedio			\$ 1,890,432	Total Costo Anual Promedio			\$ 984,800	
Limpieza Conjunto óptico	70	1	15	\$ 100,840	100	1	44	\$ 100,840	
	250	1	6	\$ 100,840	-	-	-	-	
	400	1	23	\$ 100,840	-	-	-	-	
	Total Limpieza Conjunto Óptico		44	\$ 4,436,960	Total Limpieza Conjunto Óptico		44	\$ 4,436,960	
Costo Anual de consumo de energía	70	Pérdidas (W)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)	Potencia (W)	Pérdidas (W)	Cantidad (Und)	Valor Unitario sin IVA (\$)	
	70	11	15	\$ 206,620	100	0	44	\$ 255,087	
	250	29	6	\$ 711,692	-	-	-	-	
	400	79	23	\$ 1,221,866	-	-	-	-	
	Total Energía anual		44	\$ 35,472,373	Total Energía anual		44	\$ 11,223,820	
Total operación y mantenimiento anual				\$ 43,360,725	Total operación y mantenimiento anual				\$ 17,532,180

Con los costos obtenidos anteriormente y siguiendo con el procedimiento establecido en el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público en su sección 610.7 se procede a realizar el cálculo de los costos anuales de operación a valor presente VP(CAO), valor presente total del proyecto (P_T) y costo anual uniforme equivalente

Figura 21.

Ecuación para cálculos VP(CAO), P_T y CAUE

$$VP(CAO) = CAO * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

$$P_T = CI + VP(CAO)$$

$$CAUE = CAO - VP(VS) + CI/(1+i)^n$$

(RETILAP, 2010)

Al realizar el cálculo de los costos anuales de operación a valor presente VP(CAO), valor presente total del proyecto (P_T) y costo anual uniforme equivalente para cada propuesta de tecnología se obtiene que el costo anual uniforme equivalente de la propuesta en LED es menor, por tanto, se elige dicha propuesta al tener menores costos totales.

Tabla 10.

Evaluación financiera del proyecto.

EVALUACION FINANCIERA DEL PROYECTO					
PROPUESTA	COSTO INICIAL	CAO	Total CAO a valor presente	VALOR. PRES NETO	C ANUAL EQUIV
Tecnología Sodio (Roy Alpha)	\$ 28,905,905	\$43,360,725	\$ 342,772,529	\$ 371,678,434	\$ 44,171,781
Tecnología LED (Sylvania)	\$ 63,705,103	\$17,532,180	\$ 138,594,309	\$ 202,299,412	\$ 19,319,648

Tabla 11.**VARIABLES PARA CÁLCULOS DE EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO**

Siglas	Descripción	Valor
VP(CAO)	Valor Presente de los costos de administración, operación y mantenimiento	
n	número de años a evaluar	30
i	Tasa de descuento suministrada por la CREG 102 002	12.65%
VPN	Valor presente neto o Valor total	
VS	Corresponde al valor de salvamento, de acuerdo a lo indicado en el RETILAP sección 610.7.3 se toma nulo el valor	
CAUE	Costo anual uniforme equivalente	

4.1. Análisis Comparativo De Energía Y Costos De Energía

A continuación, se presenta de manera gráfica los consumos de energía de ambas tecnologías proyectado a 30 años. Por otra parte, su comparación en costos anuales y acumulados.

Tabla 12.**Comparación Carga total y energía anual Sodio VS LED**

	SODIO	LED
CARGA TOTAL PROYECTADA (W)	13,906.00	4,400.00
TOTAL ENERGIA KWh - AÑO	60,908.28	19,272.00

Tabla 13.**Comparación Carga total y energía proyectada a 30 años Sodio VS LED**

ENERGÍA Y CARGA PROYECTADOS A 30 AÑOS		
DESCRIPCIÓN	SODIO	LED
CARGA TOTAL PROYECTADA (KW)	13.91	4.40
TOTAL ENERGIA MWh - AÑO	1,827.25	578.16

Figura 22.
Carga proyectada tecnología Sodio VS LED

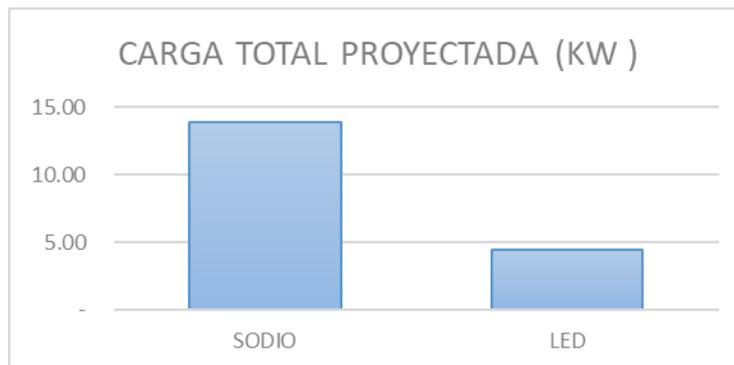


Figura 23.
Consumo de energía proyectado por año.

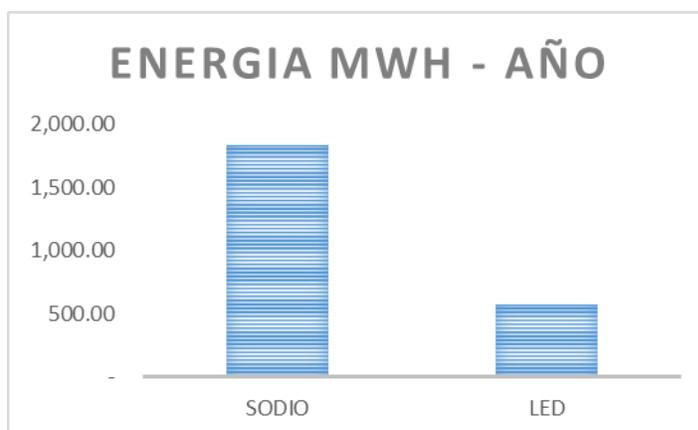
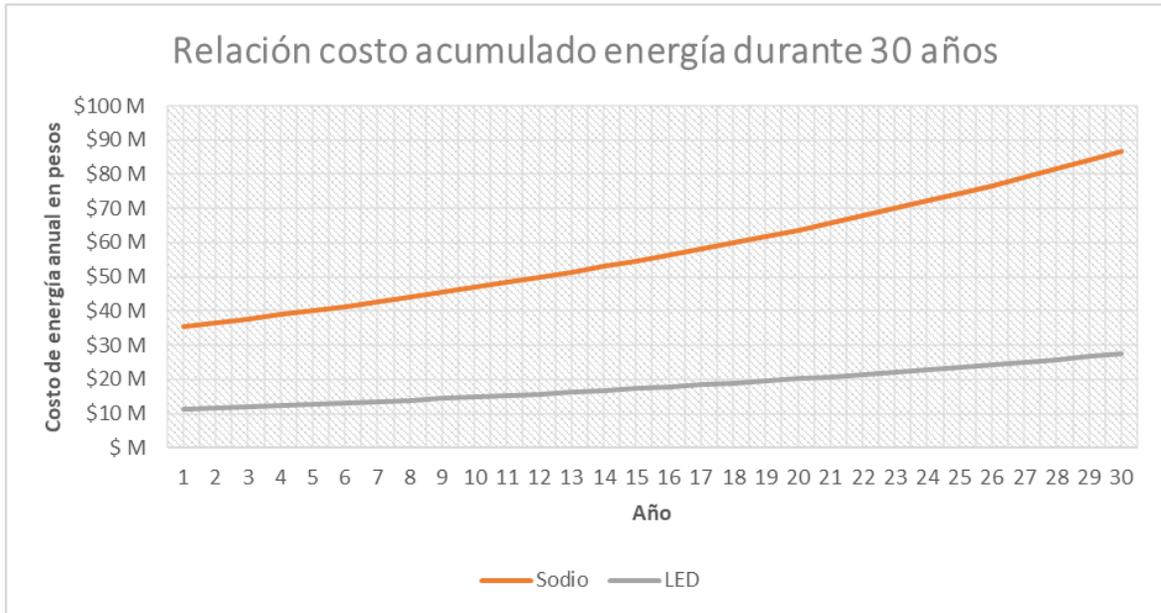
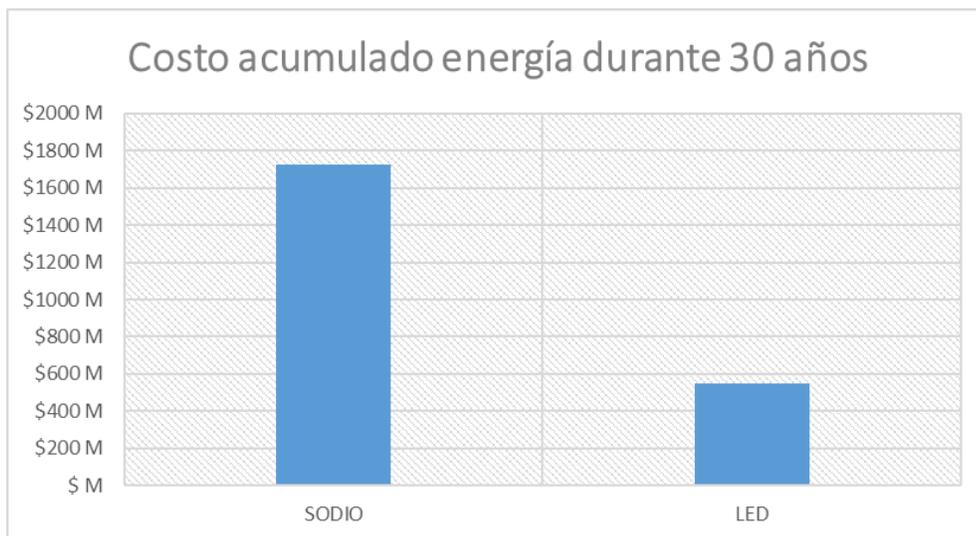


Figura 24.
Relación costos anuales de energía durante 30 años



Según el RETILAP la evaluación económica se debe realizar a 30 años ya que se debe tener en cuenta la vida útil de los elementos del proyecto. De esta manera se puede ver el ahorro a largo plazo.

Figura 25
Costo total de energía acumulado en 30 años



De acuerdo con lo anterior se observa un ahorro en la tecnología LED del 68.36% con respecto a la tecnología Sodio lo que corresponde a un ahorro en 30 años de \$717,491,434.

4.2. Punto De Equilibrio Económico

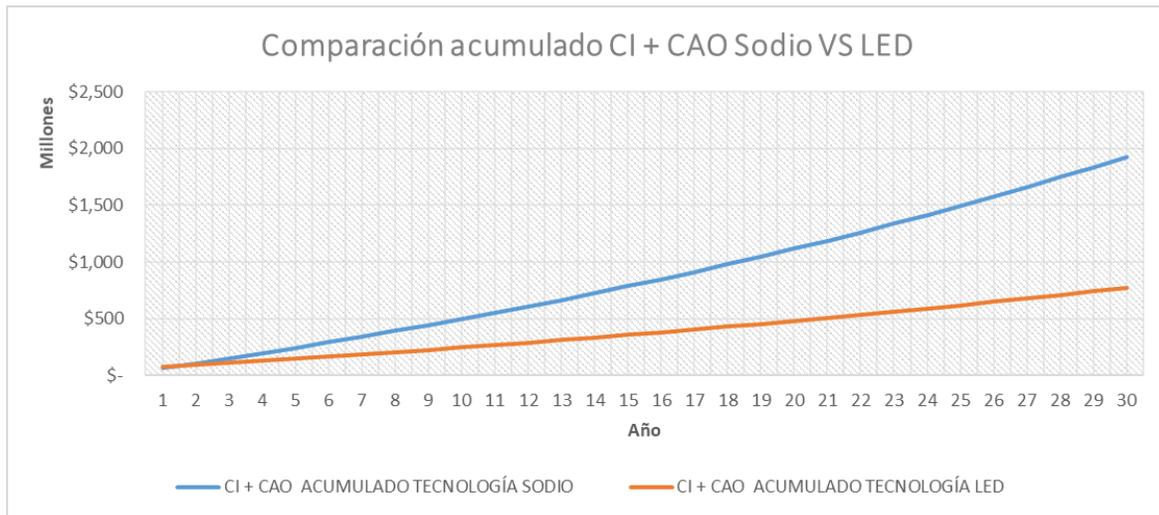
Corresponde a la suma de los costos iniciales en cada tecnología y los costos de administración y operación anualizados, posteriormente se realiza la diferencia entre los costos de las tecnologías Sodio - Led y así visualizar anualmente el tiempo de recuperación de la inversión de la modernización y los sobre costos de mantener la tecnología Sodio.

Tabla 14.
Punto de equilibrio económico.

Año	CI + CAO ACUMULADO TECNOLOGÍA SODIO	CI + CAO ACUMULADO TECNOLOGÍA LED	DIFERENCIA (SODIO-LED)
Año 1	\$ 64,378,278	\$ 74,928,924	-\$ 10,550,645
Año 2	\$ 107,739,003	\$ 92,461,104	\$ 15,277,899
Año 3	\$ 152,210,013	\$ 110,344,589	\$ 41,865,424
Año 4	\$ 197,826,061	\$ 128,590,376	\$ 69,235,684
Año 5	\$ 244,622,985	\$ 147,209,805	\$ 97,413,180
Año 6	\$ 292,637,748	\$ 166,214,570	\$ 126,423,178
Año 7	\$ 341,908,467	\$ 185,616,732	\$ 156,291,734
Año 8	\$ 392,474,454	\$ 205,428,731	\$ 187,045,723
Año 9	\$ 444,376,251	\$ 225,663,393	\$ 218,712,858
Año 10	\$ 497,655,670	\$ 246,333,949	\$ 251,321,721
Año 11	\$ 552,355,828	\$ 267,454,041	\$ 284,901,787
Año 12	\$ 608,521,196	\$ 289,037,741	\$ 319,483,456
Año 13	\$ 666,197,635	\$ 311,099,558	\$ 355,098,077
Año 14	\$ 725,432,441	\$ 333,654,459	\$ 391,777,982
Año 15	\$ 786,274,391	\$ 356,717,877	\$ 429,556,514
Año 16	\$ 848,773,788	\$ 380,305,728	\$ 468,468,060
Año 17	\$ 912,982,512	\$ 404,434,427	\$ 508,548,085
Año 18	\$ 978,954,063	\$ 429,120,903	\$ 549,833,160
Año 19	\$ 1,046,743,618	\$ 454,382,613	\$ 592,361,004
Año 20	\$ 1,116,408,080	\$ 480,237,564	\$ 636,170,516
Año 21	\$ 1,188,006,135	\$ 506,704,323	\$ 681,301,812
Año 22	\$ 1,261,598,304	\$ 533,802,040	\$ 727,796,264
Año 23	\$ 1,337,247,002	\$ 561,550,463	\$ 775,696,539
Año 24	\$ 1,415,016,599	\$ 589,969,961	\$ 825,046,638
Año 25	\$ 1,494,973,479	\$ 619,081,537	\$ 875,891,942
Año 26	\$ 1,577,186,104	\$ 648,906,854	\$ 928,279,250
Año 27	\$ 1,661,725,078	\$ 679,468,251	\$ 982,256,827
Año 28	\$ 1,748,663,217	\$ 710,788,769	\$ 1,037,874,448
Año 29	\$ 1,838,075,615	\$ 742,892,167	\$ 1,095,183,448
Año 30	\$ 1,930,039,715	\$ 775,802,950	\$ 1,154,236,765

(Elaboración Propia, 2022)

Figura 26.
Comparación acumulado CI + CAO Sodio VS LED



CONCLUSIONES

- Como resultado del levantamiento de la infraestructura existente se encuentra que las luminarias existentes cuentan con mas de 15 años de vida útil, por lo cual se sugiere el cambio de dichos elementos.
- Los niveles de iluminación encontrados se encuentran por debajo de lo indicado en el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.
- Manteniendo la infraestructura existente (postes y redes) y realizando el cambio de luminarias con sus respectivos accesorios por las luminarias LED de 100W marca Sylvania se obtiene un rendimiento lumínico superior por menor energía.
- Se determinó que las luminarias en tecnología LED propuestas en el documento obtienen un mayor rendimiento energético lo que se traduce en un ahorro total de 1.154M de pesos en costos de administración y operación proyectado a 30 años.
- Se proyecta una disminución de 157.39 toneladas de CO2 en 30 años al implementar la tecnología LED contribuyendo así al medio ambiente.

ANEXOS

Certificado de calibración Luxómetro

					
• • • • • Electrónica Especializada LTDA		ISO/IEC 17025:2017 11-LAC-027			
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN					
Certificado No.:	LX-190325168-14235				
Cliente:	SOCILUZ S.A ESP				
Dirección:	Calle 51 N° 9 - 37, Soacha Leon XIII, Soacha - Cundinamarca				
Instrumento:	LUXÓMETRO				
Fabricante:	CEM				
Modelo:	DT-8809A				
Número de serie:	190325168				
Registro único entrada:	RC14235				
Condición de ingreso:	Sin anomalías visuales.				
Fecha de recepción:	2022-11-16				
Fecha de calibración:	2022-11-17				
Fecha de emisión:	2022-11-17				
Número de páginas del certificado incluyendo anexos:	2				
<p>El laboratorio es responsable de toda la información suministrada en este certificado, excepto cuando la información ha sido suministrada por el cliente durante cualquier etapa de la prestación del servicio, así mismo, de los puntos de calibración solicitados si es aplicable.</p> <p>El usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.</p> <p>Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>Los valores e incertidumbres asignadas corresponden al momento de la calibración, no considerándose la estabilidad a largo plazo del instrumento, y únicamente son válidos para el instrumento cuyos datos aparecen en esta página. El Laboratorio Lab & Service Electrónica Especializada Ltda., no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.</p>					
<hr/>					
Aprobó:		Firmado digitalmente por Diana Lorena Higuera Fecha: 2022.11.18 14:59:39 -05'00'			
		 Directora Técnica Laboratorio de Calibración			
Revisó:	DHM				
CA-FT-019 V5 / 2021-12-09	Página 1 de 2				
Carrera 67 No. 167 - 61 Oficina 209 - Centro Empresarial Colina Office Park - Bogotá, Colombia NIT 830.102.766-2 - Teléfonos: 601 674 1061 • 601 674 1065 • 316 5211225 www.labserviceltda.com - info@labserviceltda.com					

Certificado No. LX-190325168-14235

Método utilizado:

El instrumento descrito anteriormente fue calibrado por comparación directa, de acuerdo a la publicación técnica CNM-MFO-PT-004. Los valores promedios del patrón y del instrumento se obtuvieron a través de 10 mediciones realizadas en cada punto medido, este proceso se encuentra descrito en el procedimiento interno CA-PR-004.

Condiciones Ambientales:

Temperatura Máxima: 23,1 °C Humedad Relativa Máxima: 49,0 % hr Presión atmosférica: 750,8 hPa
Temperatura Mínima: 22,4 °C Humedad Relativa Mínima: 35,6 % hr Δ Presión atmosférica: 0,2 hPa

Resultados de la calibración:

Intervalo de medición 85 lx ≤ Ev* ≤ 4000 lx

Iluminancia Referencia (lx)	Iluminancia Promedio (lx)	Error (lx)	Error Relativo [%]**	Resolución (lx)	Factor de cobertura (k)	Incertidumbre expandida [%]**	Factor de Corrección
85,01	79,04	-5,97	-7,02	0,1	2,01	0,61	1,075
1.000,70	948,04	-52,66	-5,26	1	2,01	0,63	1,056
2.002,59	1920,40	-82,19	-4,10	1	2,01	0,65	1,043
2.999,65	2894,20	-105,45	-3,52	1	2,01	0,65	1,036
3.999,74	3860,60	-139,14	-3,48	1	2,01	0,65	1,036

* Ev = Iluminancia

** % = Porcentaje relativo

Incertidumbre:

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

Trazabilidad:

El Laboratorio Lab & Service Electrónica Especializada Ltda., asegura la trazabilidad a la candela (cd), unidad base del SI, mediante los patrones utilizados en estas mediciones, calibrados por laboratorios acreditados.

Patrón utilizado	Identificación	Certificado No.	Calibrado por:
FUENTE DE CORRIENTE	LX-005	CMK-GELEC-18198	COLMETRIK
LÁMPARA INCANDESCENTE TIPO FEL	LX-017	CNM-CC-520-010/2021	CENAM
CINTA MÉTRICA	LX-015	L18399	SUMINCOL

Observaciones:

Los resultados de calibración están expresados en lux (lx), lo cual es trazable al SI como unidad de nombre especial, conforme a lo estipulado en el documento "Folleto SI: El Sistema Internacional de Unidades (SI) del BIPM", 9ª edición (2019).

El factor de corrección permite conocer la iluminancia corregida luego de la medición, para lo cual se debe usar la siguiente ecuación: Iluminancia corregida = Factor de corrección * Iluminancia promedio.

La calibración ha sido realizada en las instalaciones de Lab & Service Electrónica Especializada Ltda., ubicado en la carrera 67 No. 167 - 61 Oficina 209, en el área de luxometría.

Otras Identificaciones: N.P

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía municipal de Soacha (2021). Geografía. Soacha:

<https://www.alcaldiasoacha.gov.co/NuestroMunicipio/Paginas/Geografia.aspx>

Alcaldía De Medellín (2022). Noticias. 4.981 puntos luminosos fueron transformados a tecnología led en diferentes lugares de Medellín: medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/4-981-puntos-luminosos-fueron-transformados-a-tecnologia-led-en-diferentes-lugares-de-medellin/#:~:text=La%20Alcaldía%20de%20Medellín%20avanza,arterias%20viales%20y%20algunos%20barrios.

Revista Semana (2019). El alumbrado público debe migrar a tecnología led. Bogotá:

<https://www.semana.com/hablan-las-marcas/articulo/tecnologia-el-alumbrado-publico-debe-migrar-a-tecnologia-led/278203/>

Alcaldía municipal de Soacha (2021). Indicador de población. Soacha:

<https://www.alcaldiasoacha.gov.co/NuestroMunicipio/Paginas/Indicador-Poblacion.aspx>

International Electrotechnical Commission (2013). IEC 60529 - Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). International standard (2.2 ed.). p. 21. ISBN 9782832210864. OCLC 864643678.

Sociluz (2020). Informe de operaciones. Soacha: SOCILUZ S.A. E.S.P.

UPME. (n.d.-a). Calculadora de emisiones CO2. Retrieved June 10, 2021, from

http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html

Ministerio de minas y energía (2010). Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado
Público RETILAP

Ministerio de minas y energía (2013). Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas
RETIE