déficit mensual neto superior a los 60 millones de pesos, resultado del aumento progresivo de los costos regulados (CAOM + CINV), los costos de energía (CSEE), costos ambientales, interventoría y gastos financieros asociados a la operación del sistema. A ello se suma que una porción considerable de la infraestructura existente se clasifica como activos no eficaces, lo cual reduce la capacidad del operador para absorber los costos y exige reemplazo inmediato. Esta insuficiencia estructural evidencia que el municipio no cuenta con margen fiscal para asumir una inversión directa ni para suscribir créditos bancarios tradicionales, dadas las restricciones impuestas por la Ley 617 de 2000, la Ley 819 de 2003, el Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP) y las reglas de disciplina fiscal, que limitan la capacidad de endeudamiento y el uso de rentas de destinación específica.

A diferencia del crédito bancario o de los mecanismos de endeudamiento público, el crédito proveedor constituye una modalidad en la que el contratista o concesionario financia total o parcialmente la inversión inicial, permitiendo que el municipio pague el valor del proyecto mediante cuotas periódicas, sin requerir desembolsos presupuestales iniciales ni constituir deuda pública. Este esquema se encuentra plenamente habilitado por la Ley 80 de 1993, la Ley 1150 de 2007 y el Decreto 1068 de 2015, los cuales permiten pactar pagos diferidos y esquemas financiados siempre que cuenten con soporte técnico y financiero. Adicionalmente, la Contaduría General de la Nación ha señalado que los pagos periódicos asociados a proyectos financiados por el contratista no se consideran deuda, siempre que se paguen con recursos propios del servicio y no afecten el presupuesto general del municipio, condición plenamente cumplida en este caso, dado que las cuotas se pagan exclusivamente con los ingresos del impuesto de alumbrado público.

El análisis financiero demuestra que, bajo las condiciones actuales de recaudo proyectado ajustado conservadoramente con una tasa de pago del 94%, se obtiene un ingreso mensual aproximado de $246.209.038, dentro del cual, descontando costos energéticos, operativos y regulados, queda un remanente disponible de $122.199.028. Este valor es suficiente para cubrir la cuota mensual del crédito proveedor, estimada en $108.441.788, por lo que el esquema es autosostenible, no requiere subsidios del municipio, respeta el principio de sostenibilidad fiscal de la Ley 819 de 2003 y no genera riesgos de desequilibrio presupuestal. La cuota es inferior al excedente mensual, lo que garantiza que el servicio opera establemente durante toda la vida del proyecto sin generar déficit operativo.

Desde la perspectiva técnica, esta modalidad permite ejecutar de manera inmediata la modernización de todo el sistema de alumbrado público, reemplazando luminarias ineficientes por tecnología LED, reduciendo el consumo energético entre un 45% y 60%, minimizando costos de mantenimiento preventivo y correctivo, disminuyendo fallos del sistema y generando una infraestructura con

vida útil superior a 100.000 horas. La modernización anticipada asegura el cumplimiento pleno de RETILAP y RETIE sin necesidad de dividir el proyecto en fases que prolonguen la exposición del municipio a riesgos regulatorios, sanciones o pérdidas técnicas.

Asimismo, desde una perspectiva jurídica y regulatoria, el modelo responde a lo dispuesto en la CREG 101-013 de 2022, que permite trasladar al CINV las inversiones relacionadas con activos nuevos siempre que cumplan con criterios de eficacia. La financiación mediante crédito proveedor facilita la incorporación inmediata de dichos activos sin que el municipio deba esperar a implementar ajustes tarifarios previos, garantizando que la infraestructura nueva pueda ser reconocida regulatoriamente conforme a los parámetros de la CREG. No obstante, como todo esquema financiero, este modelo conlleva ciertos riesgos. En primer lugar, existe un riesgo asociado al comportamiento del recaudo del impuesto de alumbrado público; sin embargo, se ha mitigado adoptando una tasa de pago conservadora del 94%, garantizando que las cuotas se paguen incluso en escenarios de menor recuperación. En segundo lugar, existe un riesgo de incremento en los costos energéticos; sin embargo, la modernización LED reduce significativamente la exposición del sistema a variaciones tarifarias. En tercer lugar, existe un riesgo regulatorio asociado a futuras modificaciones normativas, pero el cumplimiento pleno de RETILAP, RETIE y CREG reduce casi completamente esta probabilidad. Finalmente, existe riesgo contractual vinculado al cumplimiento del proveedor, mitigado mediante garantías, pólizas y mecanismos de supervisión establecidos en la Ley 80 de 1993.

Con base en lo anterior, este ETR concluye que el modelo de crédito proveedor es la opción más adecuada, segura y sostenible para financiar la modernización del sistema de alumbrado público, pues permite ejecutar una inversión altamente necesaria sin comprometer recursos municipales, sin generar deuda pública, sin afectar el gasto social y garantizando el cumplimiento técnico y regulatorio del servicio. Su adopción alinea el proyecto con los principios de eficiencia, economía y responsabilidad fiscal, permitiendo que el municipio avance hacia un sistema moderno, eficiente y normativamente acorde, con una estructura financiera sostenible y con riesgos controlados.

13. COMPONENTE AMBIENTAL

En la actualidad son cada vez mejore los avances tecnológicos que se vienen trabajando en el mundo para conseguir sistemas de iluminación óptimos y amigables con el medio ambiente. Todo esto enfocado al tema de eficiencia energética. El cual se logra con inclusión de tecnologías de luminarias que ofrecen iguales o mejores condiciones luminicas que las tecnologías convencionales y con menos consumo de energía eléctrica.

En la mayoría de los casos la sustitución de luminarias convencionales por luminarias LED ofrece muchos beneficios. Destacando principalmente la reducción del consumo de energía eléctrica hasta un 60%, disminución de emisiones de dióxido de carbono y disminución del mantenimiento de las luminarias gracias a que su vida útil es superior a la de las luminarias convencionales. Todos los beneficios anteriores vienen acompañados con características técnicas y eléctricas que ofrece la tecnología LED. Tales como mejor reproducción de color, sensación de confort, mayor rango de operación de voltajes. LED "Lighting Emitting Diode" (diodo emisor de luz) y se compone esencialmente de distintas capas de conexiones de semiconductores. El constante desarrollo y la eficiencia de LED nos permite con menor energía eléctrica brindar mayor y mejor calidad de iluminación, produce más luz por watt y a menor costo energético. La luz emitida por los LEDs es muy próxima a la luz natural, permitiendo que todos los colores se reproduzcan perfectamente. Esto nos permite mantener la naturalidad de los colores de los objetos a iluminar.

Los LEDs no gastan energía en forma de calor que no produce luz. En comparación, una luminaria incandescente emite en la banda del infrarrojo (no visible) una gran porción de la energía que produce, como resultado, tanto las incandescentes como las fluorescentes producen una gran cantidad de calor que es un desperdicio de energía. (Assessment) ((TNA), s.f.).

A continuación, se enuncian los principales beneficios de un sistema de alumbrado público con utilización de tecnología LED:

- Mejora la experiencia de visión nocturna.
- Son amigables con el medio ambiente y la eficiencia energética.
- Hace que las ciudades sean más seguras, amigables y atractivas.
- Su consumo eléctrico y mantenimiento es medible y controlable.
- Reduce los costos de mantenimiento y de energía hasta en un 60%.
- Su luz blanca no genera deslumbramientos.
- No contiene mercurio y reduce el impacto ambiental.

- Los materiales pueden ser reciclados.
- Su tecnología electrónica permite interactuar con otros sistemas públicos como Video vigilancia, Datainfo, Conectividad, etc.
- Son infraestructura base para crear Ciudades Inteligentes (Smart cities). (Corpoema, 2019)

Para reducir el consumo energético y conseguir que el sistema de iluminación sea eficiente debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Luminarias o bombillas eficientes que aportarán un mayor flujo luminoso a menor consumo.

- Equipos electrónicos y regulables.
- Ópticas para maximizar el efecto lumínico.
- Mecanismos de Tele gestión que nos permitan tener una iluminación medible, administrable y regulable.
- Realizar la instalación en base a cálculos previos del diseño de iluminación.

13.1 Medio ambiente y efectos aplicables.

A continuación, se describen las interacciones y sus efectos con el medio ambiente de los sistemas de iluminación del alumbrado público.

a) Las variaciones de la temperatura dentro de una luminaria dependen de los cambios climáticos tanto estacionales como diarios, así como del encendido y apagado de la bombilla. Estas diferencias de la temperatura interior pueden alcanzar cifras muy altas. Las máximas se presentan en luminarias cerradas e instaladas en zonas cálidas. Para reducir este efecto ambiental se debe tener en cuenta en cuenta lo siguiente:

- En zonas cálidas utilizar luminarias herméticas y equipo auxiliar, (conductores, fusibles, aisladores, etc.), fabricados con materiales completamente tropicalizados, es decir resistentes al calor excesivo, humedad y moho.
- Para fuentes de alta potencia, y en general para todas las fuentes que liberen una gran cantidad de energía térmica, utilizar luminarias que tengan el volumen interior del conjunto óptico y del conjunto eléctrico, de tal manera que se cumplan los requisitos de producto establecidos en el

presente reglamento, respecto a los límites de variación de tensión de operación de la bombilla dentro y fuera del conjunto óptico.

- Para cada categoría de fuente luminosa, utilizar únicamente los modelos de luminarias diseñados específicamente para esa categoría y potencia.
- Para luminarias cerradas no herméticas se debe disponer de un sistema de evacuación del agua de condensación.

b) Variaciones abruptas de la tensión. Una tensión en los terminales de las bombillas, no conforme con la prevista, ocasiona una variación apreciable en el flujo luminoso emitido. La variación de tensión en los terminales de la bombilla depende de la variación de tensión de la fuente de alimentación y de la capacidad de regulación de la tensión que tenga el tipo de balasto utilizado en la luminaria.

El diseñador debe consultar con el operador de la red el comportamiento de las variaciones de tensión en los circuitos alimentadores de media tensión cuando se considera la instalación de transformadores exclusivos para alumbrado público, o las variaciones en la red de baja tensión cuando se usan las redes de uso general en baja tensión. En todo caso el diseñador deberá dejar constancia del análisis realizado y de las especificaciones dadas en consideración con las variaciones posibles de tensión que se presenten en los circuitos de alimentación.

Cuando un proyecto o sistema se encuentre en operación, el operador del sistema de alumbrado público en conjunto con el operador de la red deberá evaluar el comportamiento de las variaciones de tensión de alimentación y definir las acciones y correcciones a realizar con el fin de obtener un comportamiento cercano a las condiciones de operación de diseño de tensión de las bombillas.

Depreciación de la luminaria por envejecimiento y degradación. La rapidez y severidad de la acumulación de polvo en las fuentes luminosas y luminarias varía considerablemente con el tipo y construcción de la luminaria (abierta o cerrada), la altura de montaje y sobre todo con el grado de humedad y polución de la atmósfera del ambiente, el cual depende a su vez, de otros factores (volumen y naturaleza del flujo de tráfico, clima, trayectoria del viento, ubicación de la instalación, etc.) que producen un envejecimiento y degradación de todos los materiales que conforman los sistemas de iluminación pública.

c) Variaciones de las características de reflexión de la calzada (FR). Las propiedades de reflexión de las superficies de la calzada cambian paulatinamente con su utilización. Este cambio que no es constante a lo largo de toda la superficie, es significativo en los inicios de la utilización de la calzada y después decae. El cambio de las propiedades de reflexión se produce por:

- Acumulación de suciedad y polvo atmosférico
- Diferencia de carga y peso de los vehículos

- Mayor o menor utilización de los carriles de circulación
- Flujo vehicular

Calidad de los materiales utilizados en la construcción de la calzada

Condiciones atmosféricas: temperatura, humedad, frecuencia de las lluvias, características de polución del ambiente.

Este factor debe considerarse únicamente cuando se tenga un buen conocimiento de las superficies de las calzadas lo cual se logrará a través de una serie de mediciones que se efectúen sobre las calzadas de las vías.

e) Depreciación del flujo luminoso de la bombilla (DLB). La influencia de la depreciación en la frecuencia de sustitución de las bombillas debe considerarse para mantener ciertas condiciones mínimas de iluminación durante la vida útil de la instalación.

Los fabricantes de bombillas deben suministrar la información de la reducción del flujo luminoso de los distintos tipos de bombillas y las diferentes potencias obtenidos bajo condiciones de funcionamiento controladas. El diseñador deberá tener en cuenta tales condiciones para especificar el tipo de conjunto eléctrico necesario para cada tipo de fuente luminosa propuesta y plantear el esquema de mantenimiento.

Los operadores del servicio de alumbrado público deberán crear y alimentar las bases de datos que les permitan determinar la depreciación y vida útil real de las bombillas por marcas, tecnología, potencia y condiciones del sitio de instalación.

En lo posible los operadores deberán, mediante muestras, hacer pruebas para verificar condiciones iniciales y durante la operación de las fuentes luminosas, tales como tensión de bombilla y flujo luminoso.

Al finalizar periodos de 4 años a partir de la entrada en vigencia del presente reglamento, los operadores del servicio de alumbrado público evaluarán los datos del comportamiento real de las bombillas y presentarán a la industria por intermedio del comité técnico de normalización de iluminación las sugerencias para que se realicen los ajustes pertinentes y a este Ministerio para que se hagan los ajustes al reglamento.

f) Factor de reemplazo de bombillas (R). En alumbrado público el factor de reemplazo de la bombilla estará determinado por la vida útil (70% del flujo luminoso nominal). Por diversas circunstancias, algunas bombillas terminan su vida antes de lo esperado, y dado que existen necesidades de optimizar el mantenimiento de las instalaciones de alumbrado público, se deben considerar las características de depreciación y mortalidad de la bombilla, para establecer un cronograma de reemplazo.

En alumbrado industrial y comercial el factor de reemplazo de la bombilla podrá ser establecido con base en un estudio de vida económica. La vida económica de una bombilla es el periodo de tiempo, expresado en horas, que transcurre hasta cuando la relación entre el costo de reposición y el costo de lúmenes- hora que sigue produciendo la fuente no es económicamente favorable. La vida económica depende, por consiguiente, del costo de las fuentes luminosas, del costo de la mano de obra para el cambio y del costo de la energía eléctrica.

El factor de cambio de bombilla (R) se determinará a partir de los registros de información alimentados por el operador del alumbrado público y por lo tanto deberá verificar su continuidad y pertinencia.

Todo programa de modernización de alumbrado público, entendido como cambio de luminarias de vapor de mercurio por vapor de sodio, deberá tener implementado en el sistema de información de alumbrado público su base de datos, en la cual se deben registrar, como mínimo, los siguientes datos:

Marca; Tecnología; Potencia; Fecha de instalación; Sitio de instalación (georreferencia); Tipo de área iluminada (vía tipo, peatonal, zona verde, parque campo deportivo, Ciclorutа, etc.).; Intervenciones de mantenimiento del punto instalado desde la fecha de la modernización.

g) Depreciación por ensuciamiento, factor de ensuciamiento (FE). La acumulación de suciedad en el conjunto óptico de las luminarias afecta el rendimiento y, por lo tanto, disminuye los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado público. La rapidez y severidad de la acumulación de suciedad varía de acuerdo con las condiciones existentes en el sitio de la instalación y las propiedades de hermeticidad de la luminaria.

Tabla 33. Niveles de Contaminación, Fuente RETILAP

Categoría	Descripción	Nivel de particulas	Observaciones
I	Ambientes poco polucionados	Bajo Menor 80 µg/m³	No existen actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía, tráfico ligero, generalmente limitado a áreas residenciales o rurales
II	Ambientes medianamente polucionados	Medio 80 – 150 µg/m³	Existen actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía, tráfico pesado, generalmente limitado a áreas residenciales e industriales ligeras.
III	Ambientes muy polucionados y zonas industriales	Alto 150 – 400 µg/m³	Existen actividades generadoras de nubes de polvo o humos en la cercanía, que pueden envolver ocasionalmente las instalaciones. Áreas altamente industriales
IV	Ambientes excesivamente polucionados	Excesivo Superior a 400µm³	Como la categoría anterior pero las instalaciones están envueltas en humo y polvo

13.2 Coexistencia entre sistemas lumínicos y especies arbóreas.

La arborización en el casco urbano de un municipio debe estar sometida, como todo lo público, a unas normas regulatorias que faciliten la coexistencia con la red eléctrica aérea o subterránea, los andenes, la iluminación y demás elementos del mobiliario urbano.

Se deben evitar especies como el ficus, los cauchos y ceibas, mientras se recomienda plantar árboles de follaje liviano, lo cual se hace separando el punto de siembra al menos 1,5 m de la proyección que da la red aérea sobre el piso.

Para lograr una coordinación entre la arborización y la iluminación pública es necesario, en algunos casos, efectuar desviaciones a los parámetros generales del diseño del alumbrado público para la vía, tales como la altura de montaje, interdistancias, disposición de las luminarias o su brazo de montaje. Cada caso debe tratarse separadamente, dependiendo de la vegetación considerada.

Debe tenerse en cuenta que no es necesario podar los árboles más allá de las ramas que interfieran con el haz luminoso útil figura 6, ya que el follaje restante permite mejorar el apantallamiento de la instalación y por ende, mejora la visibilidad de obstáculos por efecto silueta. En todos los casos, es mejor planear desde el momento de iniciar el diseño de la calzada los sitos para las redes de servicios públicos, tanto aéreos como subterráneos. Si una luminaria debe cambiar su interdistancias en un 10%, esto no afectará la calidad de la iluminación de manera apreciable. Incluso si se trata de una sola luminaria, es aceptable hasta un 20% de desviación. El parámetro principal a cambiar, por efectos de la arborización, es el avance de la luminaria sobre la calzada, el cual depende del brazo.

De esta manera, se garantiza la efectividad y apariencia de la instalación de alumbrado.

Se debe conceder a la arborización la importancia que merece como integrante del contexto urbano, en tal condición debe formar parte integral de los proyectos de diseño de alumbrado y se deben coordinar y jerarquizan las prioridades en la localización de los distintos componentes urbanos, dando valores racionales a cada uno de los objetivos de cada uno de estos componentes.

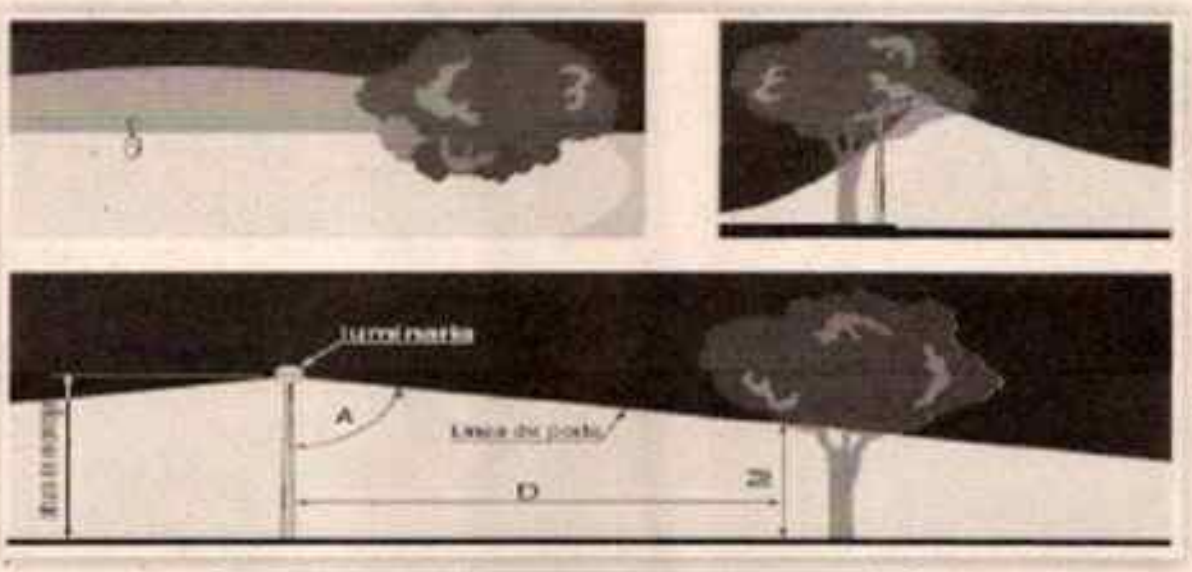


Ilustración 36. Separación mínima entre árboles y los postes con las luminarias de Alumbrado Público, para evitar sombras sobre la vía.

13.3 Regulación colombiana

El decreto 943 del 30 de mayo de 2018 en su artículo 2 establece: "Desarrollos tecnológicos asociados al servicio de alumbrado público: Se entienden como aquellas nuevas tecnologías, desarrollos y avances tecnológicos para el sistema de alumbrado público, como luminarias, nuevas fuentes de alimentación eléctrica, tecnologías de la información y las comunicaciones, que permitan entre otros una operación más eficiente, detección de fallas, medición de consumo energético, georreferenciación, atenuación lumínica, interoperabilidad y ciberseguridad."

PARÁGRAFO 1. La modernización, expansión y reposición del sistema de alumbrado público debe buscar la optimización de los costos anuales de inversión, suministro de energía y los gastos de administración, operación, mantenimiento e interventoría, así como la incorporación de desarrollos tecnológicos. Las mayores eficiencias logradas en la prestación del servicio que se generen por la reposición, mejora, o modernización del sistema, deberán reflejarse en el estudio técnico de referencia. (Artículo 2).

El sistema de telegestión del servicio de Alumbrado Público es una herramienta de control y supervisión, conformada por los siguientes componentes principalmente: un hardware, una fotocelda inteligente y un software de monitoreo; La operación de un sistema de Alumbrado público, bajo un modelo de telegestión, está fuertemente correlacionada con los principios de optimización de los recursos, de

la maximización de los beneficios, como es el ahorro de la energía, mejorar la calidad y confiabilidad del servicio de alumbrado que se ofrece al municipio, esta permite disminuir los tiempos de respuesta de atención a fallas entre otras características medibles y beneficios del sistema de Alumbrado.

Como son:

Optimización de los costos de explotación

- Se pueden planificar las intervenciones
- Activación de llamadas de emergencia automática
- Información detallada para mantenimiento
  Reporte de averías en tiempo real
- Se reduce el trabajo de rondas nocturnas para detección de fallas

Uso racional y eficiente de la energía

- Medición en tiempo real de los consumos de energía
- Comando de encendido y apagado
- Modulación de la potencia en la luminaria
- Controlar el factor de potencia (a través de la detección de fallas del condensador)
- Mantener niveles de iluminación constantes para evitar sobredimensionamiento.

13.4 Uso racional de la energía.

En Colombia, el uso racional y eficiente de la energía (URE) ha sido declarado de interés social, público y nacional mediante la Ley 697 de 2001. Esta normativa reconoce que optimizar el uso de la energía es esencial para garantizar un suministro energético adecuado, fortalecer la competitividad del país, proteger al consumidor y fomentar la utilización sostenible de fuentes de energía no convencionales, siempre en armonía con el medio ambiente y los recursos naturales.

El concepto de uso eficiente de la energía implica su aprovechamiento óptimo en cualquier etapa del proceso energético: producción, transformación, transporte,

distribución y consumo. Todo esto debe realizarse dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando las leyes ambientales vigentes.

La energía eléctrica juega un papel fundamental en la vida moderna, ya que permite el funcionamiento de electrodomésticos, la conservación de alimentos, la climatización de espacios y la iluminación de hogares y vías públicas. Su consumo se mide en kilovatios-hora (kWh), y los proveedores cobran una tarifa por cada unidad consumida. Por ejemplo, una bombilla de 70 W utilizada durante diez horas consume 0,7 kWh, mientras que una de 400 W en el mismo periodo consume 4 kWh, es decir, más de cinco veces más energía.

En cuanto al alumbrado público en Colombia, este representa aproximadamente el 3% del consumo total de energía eléctrica del país. Aunque este porcentaje puede parecer bajo, significa un área estratégica para implementar medidas de ahorro energético. En 2018, el consumo estimado fue de 2.245 GWh y en 2019 de 2.314 GWh, lo que, con una tarifa promedio de 280 pesos por kWh, representó gastos de 628.280 millones de pesos en 2018 y 647.920 millones en 2019.

El uso racional de la energía no implica dejar de utilizarla, sino hacerlo de forma eficiente. Se trata de continuar disfrutando de las comodidades tecnológicas actuales, como la iluminación o el transporte, pero evitando el desperdicio energético y la generación innecesaria de contaminantes. La aplicación del URE puede generar impactos positivos tanto económicos como ambientales.

En el caso del alumbrado público, la eficiencia energética se puede alcanzar mediante la utilización de luminarias modernas, con potencias adecuadas y en cantidades suficientes para cumplir con los niveles de iluminación requeridos. También es esencial el mantenimiento adecuado del sistema, incluyendo la limpieza regular de luminarias para evitar que la suciedad disminuya su eficiencia.

El Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), emitido por el Ministerio de Minas y Energía a través de la Resolución 18 1331 de 2009 y modificado por la Resolución 18 0540 de 2010, establece los requerimientos que deben cumplir los sistemas de iluminación. Su objetivo principal es garantizar niveles adecuados de luz, seguridad en el suministro, protección del consumidor y cuidado del medio ambiente.

RETILAP resalta la importancia del uso racional y eficiente de la energía tanto en iluminación interior como en el alumbrado público. Asimismo, fija las especificaciones mínimas que deben cumplir las instalaciones para garantizar seguridad y confort mediante un diseño y desempeño adecuados, además de exigir condiciones para que los productos utilizados en dichos sistemas contribuyan con la eficiencia energética.

Uno de los objetivos específicos del reglamento es promover prácticas que favorezcan el ahorro energético y la sostenibilidad ambiental, al tiempo que se asegura el suministro eléctrico. En ese sentido, el cumplimiento de las normas

relacionadas con el uso eficiente de la energía se convierte en una responsabilidad ambiental dentro del servicio de alumbrado público.

Finalmente, RETILAP establece que, en concordancia con el Decreto 2424 de 2006, los municipios y distritos están obligados a desarrollar un plan anual de alumbrado público. Este plan debe incluir la expansión del sistema y estar alineado con el ordenamiento territorial y los planes de desarrollo de otros servicios públicos, respetando siempre las normas técnicas y de eficiencia energética establecidas por el Ministerio de Minas y Energía.

13.5 Evaluación ambiental.

La evaluación ambiental da repuesta a la problemática planteada y se constituye en el instrumento de consulta y orientación para el manejo ambiental mejorando la gestión y el desempeño ambiental corporativo en la construcción de nuevos proyectos y en las actividades de mantenimiento y operación de los existentes. Como efecto ambiental se considera la modificación de cualquier elemento del ambiente por una acción tecnológica especifica del proyecto o por el proyecto mismo, analizándolo en conjunto; estos efectos pueden alterar el medio ambiente (medio físico, biótico, paisajístico o socioeconómico-cultural). Con este concepto se puede definir que toda acción del hombre genera impactos ambientales, definidos estos como cualquier cambio adverso o benéfico, total o parcial, temporal o definitivo, como resultado de las actividades, acciones u operaciones del proyecto. La metodología desarrollada a continuación, la cual es utilizada para la evaluación de los efectos ambientales en proyectos de infraestructura urbana, está en concordancia con los lineamientos de la legislación vigente, en especial de las recomendaciones del Ministerio del Medio Ambiente. Como se ha mencionado, aunque este proyecto No necesita Licencia Ambiental (LA), si es necesario dimensionar a manera general los posibles impactos que se puedan generar y evaluarlos, aunque sea un requisito legal; para esto se desarrollarán los siguientes aspectos metodológicos:

Identificación preliminar de componentes y elementos ambientales afectados.

- Identificación y descripción de componentes técnicos, acciones, actividades, tareas y operaciones del proyecto.
- Identificación de los componentes e indicadores ambientales de Impactos (IA). Construcción de la Matrices de Interacciones ambientales.

- Criterios y escalas de evaluación (parámetros de calificación o categorización de impactos).

Con la anterior información se muestran los resultados, se plantea una discusión o análisis de impactos ambientales, donde se exponen los resultados, las calificaciones y aproximaciones a los posibles efectos sobre los diferentes medios: Físico, (Recurso Aire, Suelo, Agua) Biótico (Fauna, Vegetación), Paisajístico (Alteración del paisaje Natural), Socioeconómico (Bienestar Social, a la salud, deterioro del sistema vial, calidad de vida y aspectos económicos).

Finalmente se enuncian unas conclusiones básicas ambientales de estudio de estos impactos como base para proponer en el siguiente capítulo el plan de manejo ambiental, el plan de monitoreo y seguimiento y el plan de contingencia respectivamente; También se analizarán los posibles riesgos asociados con la ejecución del proyecto (Análisis de Riesgos).

La evaluación ambiental se emplea para identificar los posibles impactos que se puedan generar en cualquier etapa del proyecto, con el objetivo de establecer una calificación ambiental de acuerdo a cada componente, y así, posteriormente, tomar medidas, ya sea, de prevención, mitigación, control, protección o compensación según sea el caso. Adicionalmente, para la evaluación se emplea el método EPM, o matriz EPM, la cual permite evaluar cada impacto por componente y de forma individual, dicha matriz consta de ciertos criterios empleados para la calificación ambiental, tales como: presencia, evolución, magnitud, clase y duración. El método está definido por la siguiente ecuación:

$$C_a = C \times (P \times (a \times E \times M + b \times D))$$

Donde:

Ca: Calificación ambiental

C: Clase

P: Presencia

E: Evolución

M: Magnitud

D: Duración.

a y b: constantes de ponderación.

A continuación, se presenta la definición de cada criterio junto con su simbología. Asimismo, la ilustración 11 representa la calificación para cada criterio según el método EPM.

Tabla 34. criterio ambiental. Fuente: EPM

Criterio	Símbolo	Definición
Clase	C	Define el sentido del cambio ambiental producido por cierta acción del proyecto
Presencia	P	Califica la probabilidad de que el impacto se presente
Duración	D	Evalúa el periodo de existencia del impacto y sus consecuencias
Evolución	E	Expresa la velocidad de desarrollo del impacto
Magnitud	M	Califica la dimensión del cambio ambiental generado

Tabla 35. Clasificación según criterio. Fuente: Autor.

CALIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
CLASE DE IMPACTO		
Positiva	+	El efecto mejora el estado actual del recurso afectado
Negativa	-	El efecto deteriora el estado actual del recurso afectado
PRESENCIA		
Cierto	1	Existe absoluta certeza de que el impacto se presente
Probable	0.8	Es probable hasta en un 50 % que impacto se dé
Incierto	0.4	Es poco probable que el impacto se presente
Imposible	0.1	Es imposible que se dé pero podría presentarse
MAGNITUD		
Muy Severo	1	Daño permanente al ambiente
Severo	0.8	Daños serios pero temporales al ambiente
Medianamente Severo	0.5	Daños menores pero permanentes al ambiente
Ligeramente Severo	0.3	Daños menores al ambiente
Nada Severo	0.1	Ningún daño al ambiente
DURACIÓN		
Muy Larga	1	Mas de un año
Larga	0.8	De seis meses a un año
Moderada	0.5	De un mes a seis meses
Corta	0.3	De un día a un mes
Muy Corta	0.1	Menos de un día
EVOLUCIÓN		
Muy Rápido	1	Menos de un día
Rápido	0.8	De un día a un mes
Medio	0.6	De un mes a seis meses
Lento	0.4	De seis meses a un año
Muy Lento	0.2	Mas de un año

Finalmente, luego de haber calificado por criterios, se emplea la Ecuación mencionada con anterioridad para obtener la calificación ambiental de los impactos generados por el proyecto, clasificados de acuerdo a la importancia.

Calificación ambiental	Importancia	Medida de manejo
>7,5	Muy significativo o grave	Restauración
>5 y <7,5	Significativo o relevante	Compensación/control
>2,5 y <5	Moderadamente significativo o moderado	Control
<2,5	Poco significativo o irrelevante	Preventivo

Identificación de acciones.

Teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en el diseño civil del proyecto se tienen en cuenta dos etapas y sus respectivas actividades:

Etapa 1: Pre-ejecución de obra.

- Socialización.
- Contratación de mano de obra.

Etapa 2: Ejecución de obra.

- Localización y replanteo.
- Demolición estructura existente.
- Excavación y relleno.
- Construcción estructuras de concreto.
- Señalización temporal y desvíos.
- Instalación de luminarias.
- Contratación de mano de obra

Evaluación ambiental de la situación actual.

Las luminarias de sodio producen una huella de carbono y eso contribuye en contaminación del medio ambiente. Dicha emisión se debe a los componentes internos de las luminarias de sodio, por lo tanto, la suma de todas estas potencias o luminarias en uso producen toneladas de CO2 (dióxido de carbono); teniendo como base lo descrito con anterioridad es válido afirmar que en la actualidad se está generando en el municipio una emisión negativa hacia el medio ambiente.

EVALUACIÓN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

La etapa I no representa ningún impacto ambiental riesgoso o grave, todos se categorizan como irrelevantes, sobre los cuales se deben emplear medidas de prevención. La etapa de construcción, por su parte, representa más impactos sobre el área de influencia, los impactos más significativos se muestran en el anexo. (Matriz EPM).

Recurso suelo.

No se evidencian impactos significativos sobre este recurso, se deben implementar medidas de prevención.

Recurso aire.

Los impactos sobre este recurso son negativos, se clasifican en los rangos de moderado y significativo se generan debido a la generación de ruido. Los impactos relevantes son consecuencia del uso de maquinaria, donde se presentan emisiones atmosféricas, ya sea, en forma de contaminación auditiva, lo cual resulta riesgoso, tanto para la comunidad como para el personal encargado que ejecutará la obra, por ello, las medidas de control son necesarias para contrarrestar los impactos generados.

Componente social.

La etapa de ejecución de obra presenta en este componente un impacto moderado positivo ocasionado por el mejoramiento del espacio público generado.

13.6 Viabilidad ambiental

La etapa de estudios y diseño presenta impactos netamente sociales, incluyendo: actividades de socialización, demarcación de áreas, señalización y generación de empleo, cuya calificación ambiental es de tipo irrelevante y no afecta el ambiente.

La intervención en etapa de obra sobre los componentes en el área de influencia presenta impactos negativos en su mayoría calificados como irrelevantes, que incluye el componente social debido a las molestias y afectaciones que se puedan generar por la excavación y construcción de la estructura nueva, dichos impactos pueden ser prevenidos a través de la adopción de medidas de manejo idóneas propuestas por parte del constructor. Adicionalmente, se presentan impactos negativos moderados y relevantes que son inherentes a las actividades requeridas para la ejecución de la obra, que abarca el componente atmosférico en la medida en que se emplea maquinaria y/o componentes que pueden afectar al medio ambiente y la comunidad, por ello, se debe adoptar el manejo adecuado, encargado de controlar y compensar, en los casos que sean necesarios. Los impactos positivos, por su parte, pertenecen al componente social, debido a la gran importancia que representa el proyecto para el municipio generando progreso, valorización, oportunidades, inclusión y mejora en la calidad de vida de los habitantes.

Al realizar el análisis de impacto se evidencia que los impactos ambientales negativos son puntuales y no trascienden en el tiempo, mientras que los positivos si trascienden en el tiempo, por tal motivo el proceso de modernización es ambientalmente viable.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 Conclusiones.

El presente Estudio Técnico de Referencia — ETR para el Sistema de Alumbrado Público del municipio de Ginebra, Valle del Cauca, constituye una herramienta integral de diagnóstico, planeación y toma de decisiones, al consolidar en un solo documento los análisis técnicos, jurídico-regulatorios, financieros, ambientales, contractuales e institucionales del servicio.

El estudio se estructura conforme a la normativa sectorial vigente, en especial el RETILAP 2024, el RETIE 2024, la Resolución CREG 101-013 de 2022, los lineamientos del Ministerio de Minas y Energía y demás disposiciones aplicables al servicio de alumbrado público en Colombia.

1. Diagnóstico técnico del sistema

El diagnóstico de infraestructura evidencia que el sistema de alumbrado público de Ginebra se encuentra en una etapa de transición tecnológica, en la cual coexisten luminarias de sodio de alta presión, tecnologías convencionales y luminarias LED de diferentes potencias, características y niveles de desempeño.

El aforo actualizado identifica un total de 2.620 puntos de luz, con una participación significativa de luminarias de sodio de 70 W, las cuales concentran una parte importante del consumo energético del sistema y reflejan condiciones de rezago tecnológico, baja eficiencia y mayores costos operativos frente a soluciones LED de alta eficiencia.

Aunque el municipio ha incorporado luminarias LED en algunos sectores, se identifican equipos con potencias sobredimensionadas y condiciones técnicas que no necesariamente garantizan el cumplimiento pleno de los criterios de eficiencia energética, desempeño fotométrico, uniformidad, control del deslumbramiento y calidad lumínica exigidos por el RETILAP. Esta situación justifica la formulación de un plan de modernización integral, gradual y normativamente alineado.

2. Componente jurídico y regulatorio

Desde el punto de vista jurídico y normativo, el ETR verifica que el municipio ha venido prestando el servicio de alumbrado público dentro del marco general establecido por la Constitución Política, la Ley 142 de 1994, la Ley 143 de 1994, el Decreto 2424 de 2006, el Decreto 1073 de 2015 y la regulación expedida por la CREG aplicable al servicio.

No obstante, el estudio evidencia la necesidad de actualizar y armonizar los instrumentos locales, en especial el acuerdo municipal que regula el Impuesto de Alumbrado Público y la estructuración contractual del servicio, con el fin de asegurar su coherencia con la Resolución CREG 101-013 de 2022, la cual redefine la metodología para el reconocimiento de los costos asociados al servicio, incluyendo el CSEE, CAOM, CINV y demás costos regulados.

Así mismo, la revisión del contrato de suministro de energía y del contrato de concesión vigente permite identificar la conveniencia de fortalecer las cláusulas relacionadas con seguimiento técnico y financiero, actualización tarifaria, niveles de servicio, indicadores de desempeño, trazabilidad de inversiones e incentivos asociados a la eficiencia energética.

3. Suficiencia financiera del servicio

El análisis financiero demuestra que, aunque existe un esfuerzo relevante por parte de la administración municipal para optimizar el recaudo del Impuesto de Alumbrado Público, los recursos actuales no resultan suficientes para cubrir de manera integral los costos eficientes del sistema.

El costo regulado mensual calculado bajo la metodología de la Resolución CREG 101-013 de 2022, correspondiente a la suma de CINV y CAOM. Al incorporar el costo real de la energía, los costos ambientales, de interventoría, financieros y demás componentes asociados a la prestación del servicio, se evidencia una brecha frente al nivel actual de ingresos del sistema.

Esta condición permite concluir que, bajo las tarifas vigentes, la suficiencia económica del servicio no se encuentra plenamente garantizada, por lo cual el municipio debe recurrir a fuentes complementarias de financiación para cubrir una parte significativa de los costos asociados al Sistema de Alumbrado Público — SALP.

4. Necesidad de actualización del acuerdo tarifario

El análisis del modelo de recaudo y del acuerdo tarifario evidencia que la estructura actual del Impuesto de Alumbrado Público no refleja adecuadamente los costos máximos reconocidos por la regulación ni el comportamiento real de consumo de los diferentes segmentos de usuarios.

Se identifican rangos, bases gravables y valores mínimos que, en algunos casos, se encuentran rezagados frente a la dinámica de precios de la energía, la inflación, el crecimiento de la infraestructura instalada y las necesidades reales de operación, mantenimiento, administración, reposición y expansión del sistema.

En consecuencia, el ETR recomienda la actualización del acuerdo tarifario municipal, manteniendo criterios de progresividad, equidad y razonabilidad, pero ajustando los parámetros de cálculo para que el tributo permita cubrir, como mínimo, el costo de energía, el CINV, el CAOM y los demás costos reconocidos por

la regulación. Esta actualización resulta necesaria para reducir el riesgo de desfinanciamiento estructural del sistema en el mediano y largo plazo.

5. Plan de modernización, reposición y expansión

El estudio cuantifica y plantea un plan de reposición y expansión orientado a la sustitución progresiva de luminarias de sodio y otras tecnologías ineficientes por luminarias LED certificadas, de mayor eficiencia energética, mayor vida útil y mejor desempeño fotométrico.

Adicionalmente, se contempla el fortalecimiento de la infraestructura eléctrica asociada al alumbrado público, incluyendo redes de baja tensión, elementos de protección, sistemas de control, componentes de telegestión y atención prioritaria de zonas rurales, corredores estratégicos y equipamientos públicos.

La modernización propuesta permitirá reducir el consumo energético mensual del sistema, mejorar la calidad del servicio, disminuir costos de operación y mantenimiento, aumentar la confiabilidad de la infraestructura y avanzar hacia un modelo de alumbrado público más eficiente, seguro y sostenible.

6. Ahorro energético y optimización del consumo

El análisis energético evidencia que la modernización del sistema permite reducir el consumo mensual de 71.447,04 kWh a 42.552,96 kWh, lo que representa un ahorro mensual de 28.894,08 kWh, equivalente a una disminución del 40,44 % frente al escenario actual.

Esta reducción se traduce en un ahorro económico mensual estimado de $22.443.765,58, considerando una tarifa de energía de $776,76/kWh, y en un ahorro anual aproximado de 346.728,96 kWh/año. Estos resultados confirman el alto potencial de eficiencia energética del sistema y la conveniencia técnica, económica y ambiental de avanzar con el plan de modernización.

7. Estrategia de financiación

Considerando el nivel actual de recaudo y el déficit identificado, el ETR concluye que las inversiones requeridas para la modernización, reposición y expansión del sistema no pueden financiarse exclusivamente con la caja actual del Impuesto de Alumbrado Público.

Por lo anterior, se recomienda estructurar mecanismos de financiación de mediano plazo, tales como crédito proveedor, esquemas de pago diferido, financiación respaldada en ahorros futuros u otras alternativas viables para el municipio. Estos mecanismos deben procurar que el servicio de la deuda se respalde principalmente en los ahorros derivados de la reducción del consumo de energía y de los menores costos de mantenimiento, evitando incrementos desproporcionados sobre los recursos de libre destinación.

8. Componente ambiental

Desde el componente ambiental, el ETR concluye que la modernización del sistema de alumbrado público hacia tecnologías LED de mayor eficiencia y vida útil contribuye positivamente a la reducción del consumo energético, la disminución de emisiones indirectas asociadas a la generación de energía eléctrica y el cumplimiento de los objetivos nacionales de uso racional y eficiente de la energía.

El estudio incorpora criterios para la gestión adecuada de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos — RAEE, especialmente para el retiro, manejo y disposición de luminarias obsoletas de sodio, metal halide y demás elementos reemplazados durante el proceso de modernización.

Así mismo, se establecen lineamientos para la reducción de la contaminación lumínica, la protección del arbolado urbano, la coexistencia con fauna y la ejecución de actividades de intervención bajo criterios de manejo ambiental responsable. En este sentido, el proyecto se considera ambientalmente viable, siempre que se implementen las medidas de manejo propuestas y se dé cumplimiento a la normativa ambiental aplicable.

9. Componente contractual e institucional

La revisión del contrato de concesión No. 158 de 2001 y sus modificatorios evidencia oportunidades de mejora en materia de soporte financiero detallado, trazabilidad de inversiones ejecutadas, actualización regulatoria, seguimiento técnico, indicadores de desempeño y articulación con las metodologías vigentes de reconocimiento de costos.

El ETR resalta la importancia de contar con modelos financieros robustos, verificables y documentados en archivos editables, que permitan al municipio, a la interventoría y a los demás actores del sistema realizar seguimiento sistemático a los ingresos, egresos, inversiones, saldos acumulados, costos de energía, costos AOM y escenarios de modernización.

La actualización del ETR se convierte, por tanto, en una herramienta clave para fortalecer la gobernanza del servicio, mejorar la supervisión contractual, reducir asimetrías de información entre municipio, operador, comercializador e interventoría, y facilitar la toma de decisiones con base en información técnica y financiera verificable.

10. Conclusión general

Como conclusión general, el Estudio Técnico de Referencia permite establecer que el Sistema de Alumbrado Público del municipio de Ginebra presenta una infraestructura técnicamente mejorable, con alto potencial de ahorro energético mediante la modernización de tecnologías convencionales por luminarias LED eficientes y certificadas.

De igual forma, el estudio evidencia la necesidad de ajustar el marco tarifario, contractual e institucional del servicio para alinearlo plenamente con la Resolución CREG 101-013 de 2022, el RETILAP 2024, el RETIE 2024 y demás disposiciones sectoriales aplicables.

En materia financiera, se concluye que el sistema presenta una condición de no suficiencia tarifaria, lo cual hace necesario actualizar el acuerdo municipal del Impuesto de Alumbrado Público y estructurar mecanismos complementarios de financiación que permitan ejecutar las inversiones requeridas sin comprometer la sostenibilidad fiscal del municipio.

Finalmente, el ETR confirma que la modernización del sistema es técnica, financiera y ambientalmente conveniente, siempre que se implemente de manera gradual, planificada y con adecuados instrumentos de seguimiento. En este sentido, el estudio se consolida como la hoja de ruta técnica, jurídica, financiera, ambiental e institucional para que el municipio de Ginebra adopte decisiones informadas, priorice inversiones y garantice la prestación de un servicio de alumbrado público eficiente, seguro, sostenible y fiscalmente responsable en el mediano y largo plazo.

14.2 Recomendaciones

Con fundamento en el análisis integral desarrollado en el presente Estudio Técnico de Referencia — ETR del Sistema de Alumbrado Público del municipio de Ginebra, Valle del Cauca, se recomienda a la Administración Municipal adoptar formalmente este documento como instrumento rector para la planeación, estructuración, financiación, contratación, operación, mantenimiento, supervisión y modernización del servicio de alumbrado público.

La adopción del ETR actualizado permite contar con una base técnica, jurídica, financiera, ambiental y contractual para la toma de decisiones públicas. Por el contrario, la no adopción de este instrumento podría generar actuaciones administrativas sin soporte técnico suficiente, aumentando el riesgo de observaciones desde la perspectiva del control fiscal, disciplinario y de la gestión pública.

1. Adopción formal del ETR como documento rector

Se recomienda que la Administración Municipal adopte formalmente el presente ETR como documento técnico de referencia obligatorio para la gestión integral del servicio de alumbrado público.

Este instrumento deberá orientar las decisiones relacionadas con inversiones, modernización, reposición de activos, expansión de cobertura, contratación, interventoría, actualización tarifaria, financiación y seguimiento del servicio.

La adopción formal del ETR permitirá fortalecer la planeación municipal, reducir la discrecionalidad administrativa y asegurar que las decisiones futuras se encuentren debidamente soportadas en estudios técnicos, financieros y normativos actualizados.

2. Actualización periódica del Estudio Técnico de Referencia

En atención a lo dispuesto en la Resolución CREG 101-013 de 2022, se recomienda establecer como regla institucional que el ETR sea revisado, ajustado o actualizado en un periodo máximo de cuatro (4) años, o antes de dicho plazo cuando se presenten cambios sustanciales en las condiciones técnicas, normativas, económicas, tarifarias, contractuales, ambientales o financieras del servicio.

La desactualización del ETR puede derivar en la aplicación de esquemas tarifarios desalineados con la regulación vigente, el reconocimiento de costos no eficientes, la estructuración de inversiones sin soporte técnico actualizado y la celebración o modificación de contratos con debilidades de planeación.

Por lo anterior, la actualización periódica del ETR debe entenderse como una medida de control preventivo y de buena gestión pública, orientada a mitigar riesgos fiscales, disciplinarios y contractuales.

3. Revisión y actualización del Acuerdo Municipal del Impuesto de Alumbrado Público

Del análisis de suficiencia financiera se evidencia que el recaudo actual del Impuesto de Alumbrado Público no resulta suficiente para cubrir integralmente los costos reales y regulados del servicio, incluyendo el costo de energía, administración, operación, mantenimiento, inversión, interventoria, costos ambientales, costos financieros y demás componentes reconocidos por la regulación.

En consecuencia, se recomienda adelantar la revisión, ajuste y modificación del Acuerdo Municipal que regula el Impuesto de Alumbrado Público, con el fin de armonizar la estructura tarifaria con la metodología establecida en la Resolución CREG 101-013 de 2022.

Dicha actualización deberá garantizar criterios de suficiencia económica, eficiencia, progresividad, equidad, razonabilidad y sostenibilidad financiera del sistema. La inacción frente a esta situación podría generar presiones sobre el presupuesto municipal, comprometer recursos de libre destinación y aumentar el riesgo de déficit estructural en la prestación del servicio.

4. Estructuración financiera de la modernización del sistema

Se recomienda que los procesos de modernización, reposición y expansión del sistema de alumbrado público se estructuren mediante esquemas financieros técnica, jurídica y económicamente sustentados.

Entre las alternativas posibles se podrán evaluar mecanismos como crédito proveedor, esquemas de pago diferido, financiación respaldada en ahorros futuros, alianzas contractuales permitidas por el ordenamiento jurídico u otros instrumentos que resulten viables para el municipio.

Cualquier alternativa de financiación deberá estar soportada en modelos financieros robustos, editables y verificables, formulados conforme a la metodología de reconocimiento de costos establecida por la regulación CREG. Estos modelos deberán incluir escenarios de sensibilidad asociados a variaciones en recaudo, tarifa de energía, costos AOM, cronogramas de inversión, inflación, crecimiento de infraestructura y demás variables críticas del sistema.

La ejecución de inversiones sin una fuente de pago claramente identificada o sin un modelo financiero validado podría generar desequilibrios económicos, reconocimiento indebido de costos y eventuales observaciones fiscales por debilidades en la planeación.

5. Fortalecimiento de la interventoría, supervisión y control contractual

Desde la perspectiva contractual e institucional, se recomienda fortalecer de manera permanente los mecanismos de interventoría, supervisión y control del servicio de alumbrado público.

Toda modificación contractual, adición, prórroga, ajuste operativo, reconocimiento económico, inversión, reposición de activos o actualización tarifaria deberá contar con soporte técnico, financiero y jurídico debidamente documentado, así como con concepto previo, expreso y verificable de la interventoría o supervisión competente.

La falta de control efectivo, la ausencia de soportes técnicos suficientes o la aprobación de actuaciones contractuales sin trazabilidad puede constituir una debilidad del sistema de control interno y generar riesgos fiscales, disciplinarios y contractuales para la entidad territorial.

6. Control y trazabilidad del recaudo del Impuesto de Alumbrado Público

En relación con el recaudo del Impuesto de Alumbrado Público, se recomienda implementar procedimientos formales, documentados y periódicos que permitan controlar, verificar y conciliar la facturación y el recaudo efectuado por las comercializadoras de energía.

Estos procedimientos deberán garantizar la trazabilidad de la información, la conciliación periódica de valores facturados y recaudados, la identificación de saldos pendientes, la verificación de transferencias al municipio y el cumplimiento de las obligaciones contractuales y legales asociadas al recaudo.

La ausencia de mecanismos adecuados de control en este componente puede derivar en pérdidas de recursos públicos, inconsistencias financieras, dificultades de seguimiento presupuestal y limitaciones para el ejercicio oportuno del control fiscal.

7. Cumplimiento técnico, normativo y ambiental

Se recomienda asegurar el cumplimiento permanente de la normativa técnica, energética y ambiental aplicable al servicio de alumbrado público, en especial lo relacionado con el RETIE, el RETILAP, la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos — RAEE, los criterios de eficiencia energética y los lineamientos de uso racional y eficiente de la energía.

Todo proceso de modernización, reposición o expansión deberá garantizar el uso de equipos certificados, el cumplimiento de criterios fotométricos, la seguridad eléctrica, la adecuada disposición de elementos retirados y la reducción de impactos ambientales asociados a la operación del sistema.

El incumplimiento de estas disposiciones puede afectar la calidad, seguridad, confiabilidad y sostenibilidad del servicio, además de generar responsabilidades administrativas, ambientales o contractuales para la entidad territorial.

8. Implementación de un sistema de seguimiento técnico y financiero

Se recomienda implementar un sistema de seguimiento técnico y financiero del alumbrado público que permita consolidar información actualizada sobre inventario, consumos de energía, costos AOM, inversiones ejecutadas, recaudo del impuesto, indicadores de calidad, quejas y reclamos, reposición de activos, expansión de cobertura y cumplimiento contractual.

Este sistema deberá permitir a la Administración Municipal, a la interventoría y a los órganos de control contar con información verificable, trazable y actualizada para la toma de decisiones.

La disponibilidad de información técnica y financiera confiable es fundamental para evaluar el desempeño del servicio, priorizar inversiones, controlar costos, verificar el cumplimiento de obligaciones contractuales y prevenir desequilibrios económicos.

9. Priorización de la modernización tecnológica

Se recomienda priorizar la modernización progresiva de luminarias de sodio, metal halide y demás tecnologías ineficientes, sustituyéndolas por luminarias LED certificadas, de alta eficiencia energética, adecuada vida útil, bajo índice de fallas y cumplimiento de los requisitos exigidos por el RETILAP.

La priorización deberá realizarse con base en criterios técnicos, financieros y sociales, considerando sectores con mayor consumo energético, mayores costos de mantenimiento, baja calidad lumínica, alta criticidad vial, zonas rurales, equipamientos públicos y sectores con mayor necesidad de mejoramiento del servicio.

Esta estrategia permitirá optimizar el consumo energético, reducir costos de operación y mantenimiento, mejorar la calidad del alumbrado público y contribuir a la sostenibilidad financiera y ambiental del sistema.

10. Uso del ETR como herramienta de control preventivo

Finalmente, se recomienda que la Administración Municipal incorpore el presente ETR como una herramienta central del sistema de control preventivo del servicio de alumbrado público.

Para ello, el documento deberá ser utilizado de manera transversal en los procesos de planeación, presupuesto, contratación, interventoría, supervisión, seguimiento, evaluación, actualización tarifaria y toma de decisiones institucionales.

La implementación efectiva del ETR permitirá mitigar riesgos fiscales, disciplinarios, contractuales, técnicos y financieros; fortalecer la transparencia administrativa; mejorar la gobernanza del servicio; y garantizar una prestación eficiente, segura, legal, sostenible y fiscalmente responsable del alumbrado público en el mediano y largo plazo.



MEMORIA DE CÁLCULO

DIAGNÓSTICO, MODERNIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE GINEBRA, VALLE DEL CAUCA

Verificación técnica y fotométrica de perfiles viales representativos conforme al Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP

ELABORADO PARA	ALCALDÍA MUNICIPAL DE GINEBRA - VALLE DEL CAUCA
ELABORADO POR	P&C PROYECTOS Y CERTIFICACIONES S.A.S. NIT 901.736.932-7
CÓDIGO / VERSIÓN	MC-GIN-AP-2026-01 | VA1
FECHA DE EMISIÓN	JULIO DE 2026

Tabla de contenido

INTRODUCCION. 5

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 6

1.1 Información contractual 6

1.2 Localización general del proyecto 6

1.3 Alcance técnico del estudio 7

1.4 Área de intervención e inventario general 8

1.5 Infraestructura eléctrica asociada existente 8

1.6 Vías y sectores objeto de evaluación 9

2. NORMATIVA APLICABLE 11

3. CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO 13

3.1 Ubicación del proyecto 13

3.2 Clasificación funcional de las vías 13

3.3 Geometría de las vías 16

3.4 Caracterización de los usuarios 20

3.5 Características del pavimento 21

3.6 Elementos laterales de la vía 22

4. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL RETILAP 24

4.1 Criterios para la selección de la clase de iluminación 24

4.2 Parámetros fotométricos exigidos 25

4.3 Uso racional y eficiente de la energía 25

4.4 Condiciones ambientales de diseño 27

4.6 Compatibilidad con el ordenamiento territorial 31

4.7 Separación entre postes e interdistancias 32

4.8 Distribución espacial de la iluminación 33

4.9 Evaluación técnico-económica 34

5. SISTEMA DE ALUMBRADO PROPUESTO 37

5.1 Disposición de luminarias 37

5.2 Altura de montaje 39

5.3 Interdistancia 39

5.4 Voladizo 40

5.5 Inclinación 41
5.6 Especificación de luminarias 41
5.7 Certificaciones y documentación técnica 42
6. VERIFICACIÓN FOTOMÉTRICA ***44***
6.1 Metodología de cálculo 44
6.2 Parámetros de simulación 45
6.3 Resultados obtenidos 46
6.4 Comparación con los valores establecidos en el RETILAP 49
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ***51***
7.1 Conclusiones. 51
7.2 Recomendaciones. 52
8. ANEXOS ***55***
9. LISTA DE PLANOS ***56***

Indice de tablas

Tabla 1 Tipología vial 14
Tabla 2 Parámetros geométricos de los perfiles viales utilizados en las simulaciones fotométricas. 17
Tabla 3 Características geométricas y de instalación de los perfiles viales tipo. 19
Tabla 4 Caracterización de los usuarios de las vías evaluadas. 21
Tabla 5 Clasificación de la superficie de pavimento considerada en las simulaciones. 22
Tabla 6 Elementos laterales considerados en la caracterización de las vías. 22
Tabla 7 Clases de iluminación adoptadas para las vías evaluadas. 24
Tabla 8 Parámetros fotométricos evaluados. 25
Tabla 9 Comparación del consumo energético del sistema de alumbrado público. 26
Tabla 10 Condiciones ambientales consideradas para el diseño. 27
Tabla 11 Evaluación de la coexistencia con elementos existentes. 31
Tabla 12 Compatibilidad con el ordenamiento territorial. 32
Tabla 13 Interdistancias adoptadas para los perfiles viales tipo. 33
Tabla 14 Verificación de la continuidad visual. 33
Tabla 15 Evaluación general de criterios técnicos y económicos 35
Tabla 16. Criterios considerados para la disposición de las luminarias 38
Tabla 17 Alturas de montaje consideradas en los perfiles viales 39
Tabla 18 Interdistancias consideradas en los perfiles viales 40
Tabla 19 Parámetros generales de voladizo considerados. 40
Tabla 20 Criterios considerados para la inclinación de las luminarias 41

Tabla 21 Luminarias utilizadas en las simulaciones fotométricas 42
Tabla 22 Documentación técnica requerida para las luminarias 42
Tabla 23 Metodología utilizada para la verificación fotométrica 44
Tabla 24 Parámetros generales utilizados en las simulaciones fotométricas 45
Tabla 25 Parámetros geométricos utilizados en las simulaciones fotométricas 46
Tabla 26 Resultados consolidados de las simulaciones fotométricas..... 47
Tabla 27 Comparación de los resultados fotométricos con los valores requeridos 50
Tabla 28 Requisitos técnicos mínimos recomendados para las luminarias LED de alumbrado público 54

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Mapa de localización del municipio..... 7
Ilustración 2 Localización y distribución espacial de las luminarias inventariadas.. 13

INTRODUCCION.

La presente Memoria de Cálculo se desarrolla en el marco del Contrato N.º MC-027-2026, suscrito entre la Alcaldía Municipal de Ginebra, Valle del Cauca, y P&C Proyectos y Certificaciones S.A.S., como parte de los estudios técnicos orientados al diagnóstico, modernización y mejoramiento del sistema de alumbrado público municipal.

El documento tiene como finalidad establecer y verificar los criterios técnicos y lumínicos aplicables a las vías, espacios públicos y demás áreas objeto de evaluación, de conformidad con los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público — RETILAP, modificado mediante la Resolución 40286 del 23 de junio de 2026, expedida por el Ministerio de Minas y Energía, así como con las demás disposiciones técnicas y normativas aplicables.

La memoria comprende la caracterización de las condiciones actuales del sistema, la clasificación de las vías y espacios objeto de análisis, la definición de los parámetros de diseño, la selección técnica de las soluciones de iluminación y la presentación de los resultados obtenidos mediante las simulaciones lumínicas. Estas evaluaciones permiten verificar los niveles de iluminancia o luminancia, según corresponda, la uniformidad, el control del deslumbramiento, la eficiencia energética y los demás parámetros técnicos exigidos por la reglamentación vigente.

Para el desarrollo de las simulaciones se consideran las características geométricas y operativas representativas de las vías y espacios evaluados, incluyendo la disposición de los puntos de luz, las alturas de montaje, las distancias entre postes, las condiciones de instalación y las propiedades fotométricas de las luminarias seleccionadas. Los resultados obtenidos permiten evaluar el desempeño de las soluciones propuestas y verificar su correspondencia con los requisitos establecidos para cada clase de iluminación.

De manera integral, la presente memoria consolida los criterios técnicos, parámetros de diseño, resultados de las simulaciones lumínicas y verificaciones requeridas para evaluar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el RETILAP. El análisis busca garantizar que las soluciones propuestas proporcionen condiciones adecuadas de visibilidad, seguridad vial y peatonal, calidad de la iluminación, eficiencia energética y desempeño lumínico, de acuerdo con las características particulares de las vías y espacios públicos evaluados en el Municipio de Ginebra.

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Información contractual

La presente Memoria de Cálculo se desarrolla en el marco del Contrato de Consultoría N.° MC-027-2026, suscrito entre la Alcaldía Municipal de Ginebra, departamento del Valle del Cauca, y P&C Proyectos y Certificaciones S.A.S., cuyo objeto contractual corresponde a:

"Elaborar el estudio técnico de referencia para la determinación de los costos para la prestación del servicio de alumbrado público en aplicación de la Resolución CREG 101-013 de 2022 en el municipio de Ginebra - Valle del Cauca".

La información general del contrato se presenta a continuación:

Ítem	**Información**
Contrato	MC-027-2026
Entidad contratante	Alcaldía Municipal de Ginebra – Valle del Cauca
Contratista	P&C Proyectos y Certificaciones S.A.S
NIT	901.736.932-7
Representante legal	Paola Andrea Rizo Delgado
Documento de identidad	C.C. 1.114.827.129 de Palmira, Valle
Valor contractual	$48.400.000 M/CTE. incluidos descuentos y retenciones de ley
Plazo de ejecución	Dos (2) meses contados a partir del acta de inicio
Fecha de inicio	19 de mayo de 2026
Supervisor	María Camila Arias Navarro

1.2 Localización general del proyecto

El proyecto se desarrolla en el municipio de Ginebra, departamento del Valle del Cauca, comprendiendo la evaluación técnica del sistema de alumbrado público municipal en las zonas urbana y rural.

El alcance territorial incluye:

- Perímetro urbano del municipio.
- Sectores rurales.
- Vías principales, secundarias y de servicio.
- Corredores viales y espacios asociados al sistema de alumbrado público.

La evaluación contempla el inventario existente del sistema de alumbrado público municipal, incluyendo infraestructura eléctrica asociada, puntos luminosos, características geométricas de las vías y condiciones actuales de operación.



Ilustración 1. Mapa de localización del municipio.

1.3 Alcance técnico del estudio

Dentro del desarrollo del estudio se contempla la evaluación integral del sistema de alumbrado público municipal, considerando:

- Diagnóstico del inventario existente de luminarias e infraestructura asociada.
- Caracterización geométrica y funcional de las vías objeto de análisis.

- Clasificación de las vías conforme a los criterios establecidos en el RETILAP vigente.
- Determinación de clases de iluminación requeridas.
- Evaluación de parámetros fotométricos mediante simulaciones luminicas.
- Verificación de cumplimiento de niveles de iluminación, uniformidades, control del deslumbramiento y demás parámetros técnicos aplicables.
- Evaluación energética del sistema actual y comparación frente al escenario proyectado de modernización tecnoiógica.

1.4 Área de intervención e inventario general

Como parte del levantamiento técnico realizado para el estudio, se efectuó el inventario del sistema de alumbrado público municipal, identificando un total de:

2.620 luminarias existentes, distribuidas entre zonas urbanas y rurales del municipio.

La distribución general del inventario es:

Zona	**Cantidad de luminarias**
Urbana	1.415
Rural	1.240
Total	**2.620**

La infraestructura evaluada incluye diferentes tecnologías de iluminación, entre ellas:

- Tecnología LED.
- Vapor de sodio.
- Halogenuro metálico.
- Proyectores para iluminación específica.
- Faroles ornamentales.

1.5 Infraestructura eléctrica asociada existente

Dentro del inventario de infraestructura asociada al sistema de alumbrado público se identificaron los siguientes elementos:

Tipo de poste	Cantidad
Poste concreto 8 x 510 m	13
Poste concreto 9 x 510 m DI	69
Poste concreto 10 x 510 m DI	47
Poste concreto 11 x 510 m DI	13
Poste metálico 2.5 - 3 m x 1 1/2"	53
Poste metálico 12 m	2
Total postes inventariados	**197**

Elemento	Cantidad
Transformador monofásico 10 kVA	1
Transformador monofásico 15 kVA	1
Transformador monofásico 25 kVA	1
Conjunto para transformador	2
Total elementos asociados	**5**

Redes exclusivas de alumbrado público

El sistema cuenta con aproximadamente: 21.965 metros de conductores asociados a redes exclusivas de alumbrado público, distribuidos en diferentes calibres y configuraciones.

1.6 Vías y sectores objeto de evaluación

Para el análisis fotométrico y la verificación del cumplimiento RETILAP fueron seleccionados tramos representativos del sistema vial municipal, considerando su clasificación funcional, ubicación urbana o rural y clase de iluminación requerida.

Los tramos evaluados corresponden a vías clasificadas entre:

- Vías arterias principales.
- Vías arterias menores.
- Vías colectoras.
- Vías de servicio.

La clasificación preliminar definida para los escenarios de evaluación comprende clases de iluminación desde M2 hasta M6, según las características geométricas, funcionales y de movilidad de cada tramo.

2. NORMATIVA APLICABLE

El desarrollo de la presente memoria de cálculo se realiza con base en la reglamentación técnica vigente aplicable al diseño, evaluación y verificación de sistemas de iluminación y alumbrado público, considerando los requisitos técnicos, de seguridad, eficiencia energética y calidad del servicio establecidos por las entidades regulatorias nacionales.

Para la evaluación del sistema de alumbrado público del municipio de Ginebra, Valle del Cauca, se consideran principalmente las disposiciones establecidas en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, la regulación expedida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG para la elaboración del Estudio Técnico de Referencia, así como las normas complementarias relacionadas con instalaciones eléctricas, ordenamiento territorial y criterios técnicos de diseño.

Las normas y documentos técnicos aplicables al proyecto se presentan a continuación:

Norma / Documento	Entidad emisora	Aplicación en el proyecto
Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, modificado mediante Resolución 40286 del 23 de junio de 2026	Ministerio de Minas y Energía	Establece los requisitos técnicos para clasificación de vías, niveles de iluminación, parámetros fotométricos, eficiencia energética, control del deslumbramiento, mantenimiento y demás criterios aplicables al sistema de alumbrado público.
Resolución CREG 101-013 de 2022	Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG	Define los criterios metodológicos para la elaboración del Estudio Técnico de Referencia requerido para la determinación de costos del servicio de alumbrado público.
Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE vigente	Ministerio de Minas y Energía	Aplicable a los componentes eléctricos asociados al sistema de alumbrado público, incluyendo redes, conductores, protecciones,

Norma / Documento	Entidad emisora	Aplicación en el proyecto
		puesta a tierra y condiciones de seguridad eléctrica.
Norma Técnica Colombiana NTC 2050	ICONTEC	Referencia técnica para criterios asociados a instalaciones eléctricas de baja tensión.
Plan de Ordenamiento Territorial, Plan Básico de Ordenamiento Territorial o Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Ginebra	Municipio de Ginebra	Consideración de criterios territoriales, uso del suelo, zonas especiales, sectores históricos, turísticos y demás condiciones urbanísticas que puedan influir en la planificación del alumbrado público.
Normas técnicas del operador de red aplicables	Operador de red local	Criterios constructivos y técnicos para conexión, operación y mantenimiento de infraestructura eléctrica asociada al sistema de alumbrado público.

3. CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO

3.1 Ubicación del proyecto

El proyecto se desarrolla en el municipio de Ginebra, departamento del Valle del Cauca, comprendiendo la totalidad del sistema de alumbrado público urbano y rural, incluyendo la cabecera municipal, el centro poblado de Costa Rica, las vías de conexión y la red vial rural objeto de evaluación dentro del Estudio Técnico de Referencia (ETR).

La caracterización del sistema se realizó a partir del inventario georreferenciado de los activos de alumbrado público, mediante el cual se identificó la ubicación de luminarias, postes, redes exclusivas y demás elementos asociados al sistema.

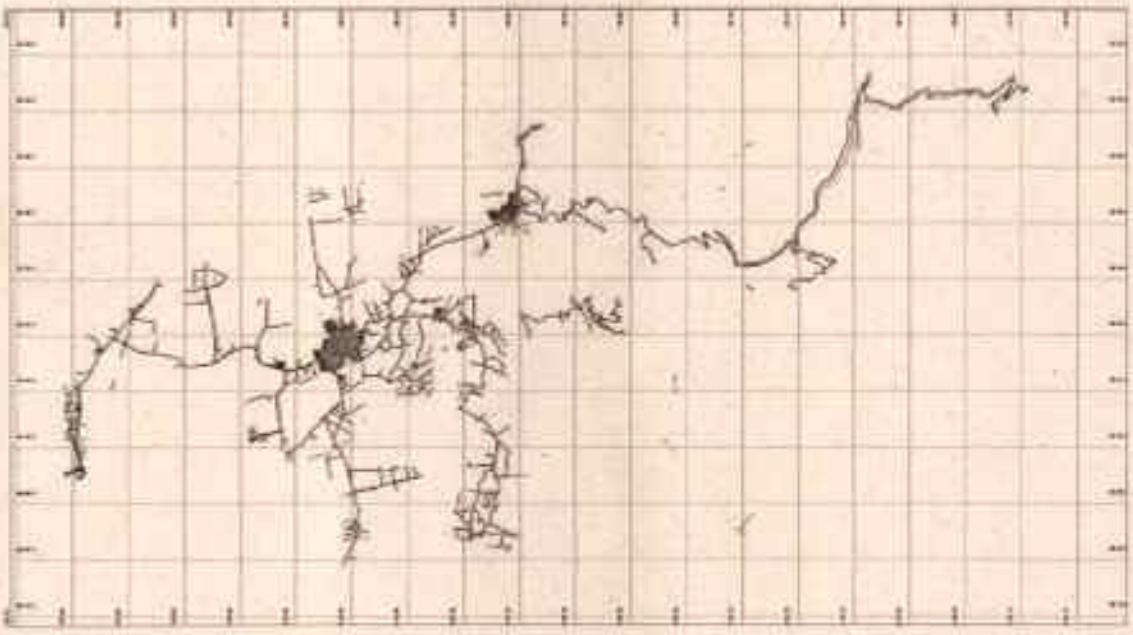


Ilustración 2 Localización y distribución espacial de las luminarias inventariadas

3.2 Clasificación funcional de las vías

La clasificación funcional de las vías objeto de estudio se realizó con base en la Jerarquización Vial Urbana y el Sistema de Comunicación Vial Municipal establecidos en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Ginebra, los cuales definen la función de cada corredor dentro de la red vial municipal de acuerdo con las características del tránsito, la accesibilidad, la continuidad, la conectividad y las actividades urbanas y rurales que atienden.

En concordancia con esta jerarquización, las vías fueron agrupadas en las categorías de vías arterias principales, vías arterias menores, vías colectoras y vías de servicio, incluyendo tanto la cabecera municipal como el centro poblado de Costa Rica y los corredores rurales contemplados en el EOT. Esta clasificación constituye el insumo principal para la definición de la clase de iluminación vehicular aplicable a cada tramo.

Con fundamento en los criterios establecidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), la clasificación funcional de las vías permite asignar la correspondiente clase de iluminación M, considerando aspectos como la importancia de la vía dentro de la red de movilidad, las características del tránsito vehicular, las condiciones de operación y los requerimientos de visibilidad. Para el presente estudio se adoptaron las clases de iluminación M2, M3, M4, M5 y M6, de conformidad con los criterios de selección establecidos en el RETILAP (Tabla 3.3.2.1.1.a) y los requisitos fotométricos definidos para las vías vehiculares (Tablas 3.3.1.1.a y 3.3.1.1.b).

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la relación entre los tramos viales evaluados, su clasificación funcional de acuerdo con el EOT y la correspondiente clase de iluminación considerada para el desarrollo de las simulaciones fotométricas y la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos en el RETILAP.

Tabla 1 Tipología vial

TRAMOS	ZONA	CLASE DE ILUMINACION	CLASIFICACIÓN			
			Vías arterias principales	Vías arterias menores	Vías colectoras	Vías de servicio
Carrera 4 entre corredor inter-regional y la calle 13, dentro del perímetro urbano.	Urbana	M2	X			
Carrera 3 entre calle 2 y 13	Urbana	M3	X			
Carrera 2 entre calles 4 y 13	Urbana	M3	X			
Carrera 1N entre calle 6 y 14	Urbana	M3	X			
Calle 4 entre carrera 1N y 10	Urbana	M3	X			

TRAMOS	ZONA	CLASE DE ILUMINACION	CLASIFICACIÓN			
			Vías arterias principales	Vías arterias menores	Vías colectoras	Vías de servicio
Calle 10 entre carrera 4 y corredor inter.-regional vía Pichichí	Urbana	M3	X			
Calle 12ª o callejón villavanegas.	Urbana	M3	X			
Calle 13 entre carrera 4 y 1N.	Urbana	M3	X			
Carrera 5	Rural	M4	X			
Calle 11	Rural	M4	X			
Calle 12	Rural	M4	X			
Calle 3 entre carrera 2 y 7	Urbana	M2		X		
Calle 5 entre 1N y 7	Urbana	M4		X		
Calle 7 y 9 entre carrera 7 y 2N	Urbana	M4		X		
Calle 11 y 12 entre carrera 4 y 2N	Urbana	M4		X		
Carrera 4	Rural	M5		X		
Carrera 6	Rural	M5		X		
Carrera 7	Rural	M5		X		
Calle 5	Rural	M5		X		
Calle 9	Rural	M5		X		
Carrera 2N entre calle 6 y 13	Urbana	M4			X	
Carrera 1 entre calle 3 y 13	Urbana	M4			X	
Carrera 5 entre calle3 y 7	Urbana	M4			X	
Carrera 7 entre calles 1 y 7	Urbana	M4			X	
Carrera 6 entre calles 3 y 9	Urbana	M4			X	
Calle 1 entre carreras 4 y 7	Urbana	M4			X	
Calle 6 entre carrera 2N y 7	Urbana	M4			X	

TRAMOS	ZONA	CLASE DE ILUMINACION	CLASIFICACIÓN			
			Vías arterias principales	Vías arterias menores	Vías colectoras	Vías de servicio
Calle 8 entre carrera 2N y 4	Urbana	M4			X	
Calle 6	Rural	M5			X	
Calle 68	Rural	M5			X	
Calle 7	Rural	M5			X	
Calle 8	Rural	M5			X	
Calle 9	Rural	M5			X	
Carrera 6	Rural	M5			X	
Carrera 6 A	Rural	M6				X
Carrera 7	Rural	M6				X
Carrera 8	Rural	M6				X
Carrera 9	Rural	M6				X
Carrera 10	Rural	M6				X
Calle 13	Rural	M6				X

3.3 Geometría de las vías

La geometría de las vías objeto de estudio fue determinada a partir del levantamiento de información realizado durante las actividades de diagnóstico en campo, complementado con la cartografía disponible del municipio y la jerarquización vial definida en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Para cada tramo se identificaron las dimensiones representativas de la sección transversal, las características de implantación del sistema de alumbrado público y los elementos urbanos que influyen en el comportamiento fotométrico de la instalación.

En la caracterización geométrica se consideraron, entre otros aspectos, el ancho de calzada, la presencia de andenes, zonas verdes, bermas y demás elementos laterales, la ubicación de los postes, la altura de montaje de las luminarias, el brazo de soporte, el avance del brazo hacia la calzada, la distancia horizontal entre el poste y el borde de la vía, así como la interdistancia entre luminarias. Estos parámetros constituyen la información de entrada utilizada para el desarrollo de las simulaciones fotométricas en DIALux Evo y para la verificación de los requisitos establecidos en el RETILAP.

Como resultado del análisis se identificaron veintiún (21) perfiles viales tipo, los cuales representan las diferentes configuraciones geométricas presentes en las vías urbanas y rurales del municipio. Cada perfil agrupa tramos con características similares de ancho de calzada, altura de montaje, disposición de luminarias e interdistancia entre postes, permitiendo optimizar el proceso de simulación sin perder representatividad técnica de las condiciones reales de instalación.

Los perfiles definidos constituyen la base para el desarrollo de las simulaciones fotométricas presentadas en el Capítulo 7 y para la evaluación del cumplimiento de los parámetros lumínicos exigidos por el RETILAP.

Con el fin de representar las condiciones geométricas predominantes de las vías objeto del proyecto, se definieron veintiún (21) perfiles viales tipo, construidos a partir del levantamiento en campo y de la clasificación funcional establecida en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Ginebra. Cada perfil reúne las características geométricas representativas de uno o varios corredores viales, permitiendo estandarizar el proceso de simulación fotométrica desarrollado en Dialux Evo.

Para cada perfil se establecieron parámetros como el ancho de calzada, disposición de las luminarias, altura de montaje, longitud del brazo, separación entre postes e interdistancia entre luminarias, los cuales constituyen la base para la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos en el RETILAP.

Tabla 2 Parámetros geométricos de los perfiles viales utilizados en las simulaciones fotométricas.

PERFIL	DISPOSICIÓN	TIPO DE VÍA	Interdistancia entre luminarias (m)	ANCHO BERMA 1 (m)	ANCHO ZONA VERDE 1 (m)	ANCHO ANDEN 1 (m)	ANCHO CICLOVÍA 1 (m)	ANCHO CALZADA 1 (m)	ANCHO CARRIL SIF 1 (m)	ANCHO ANDEN CENTRAL (m)	ANCHO CARRIL SIF 2 (m)	ANCHO CALZADA 2 (m)	ANCHO ZONA VERDE 2 (m)	ANCHO CICLOVÍA 2 (m)	ANCHO ANDEN 2 (m)	ANCHO BERMA 2 (m)	BRAZO (m)	AVANCE BRAZO (m)	MASTIL-CALZADA (m)	POTENCIA DE ALUMBRA	CODIGO PERFIL
PV-GN-01	Unilateral	M3	40					9									1.2	-0.3	1.3	11	W9M2H-1140
PV-GN-02	Unilateral	M3	38					8									1.2	-0.8	2	9	W8M3H-9058
PV-GN-03	Unilateral	M3	38					8									1.2	0.3	1.5	9	W9M3H-9058
PV-GN-04	Unilateral	M3	35					8									1	0.5	0.5	9	W8M3H-9052
PV-GN-05	Unilateral	M3	35					8									1.2	0.8	2	9	W9M3H-9052
PV-GN-06	Unilateral	M3	35					8									1	-0.5	1.5	9	W9M3H-9052
PV-GN-07	Unilateral	M3	38					8									1.2	0.7	0.5	9	W9M3H-9058

PERFIL	DISPOSICIÓN	TIPO DE VÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO (km/h)	ANCHO BERMA 1 (m)	ANCHO ZONA VERDE 1 (m)	ANCHO ANDEN 1 (m)	ANCHO CICLOVIA 1 (m)	ANCHO CALZADA 1 (m)	ANCHO CARRIL SP 1 (m)	ANCHO ANDEN CENTRAL (m)	ANCHO CARRIL SP 2 (m)	ANCHO CALZADA 2 (m)	ANCHO ZONA VERDE 2 (m)	ANCHO CICLOVIA 2 (m)	ANCHO ANDEN 2 (m)	ANCHO BERMA 2 (m)	BTA	AVANCE BRAZO (m)	RADIO CALZADA (m)	PEDREDO DE ALTURAS	CODIGO PERFIL
PV-GN-10	Unidireccional	M3	30	N/A	N/A	3	N/A	5	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.5	-2	2.5	9	W3M3H9030
PV-GN-06	Unidireccional	M4	40	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0.5	0.5	9	W4M4H9040
PV-GN-07	Unidireccional	M4	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M4H9035
PV-GN-01	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0.5	0.5	9	W4M4H9030
PV-GN-08	Unidireccional	M4	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	7	W7M4H7035
PV-GN-09	Unidireccional	M4	40	N/A	N/A	N/A	N/A	8	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0	1	9	W8M4H9040
PV-GN-10	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	3.5	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0.5	1.5	9	W4M4H9030
PV-GN-10	Unidireccional	M4	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	-0.5	1.5	9	W4M4H9035
PV-GN-11	Unidireccional	M3	30	N/A	N/A	N/A	N/A	3	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	7	W3M3H7030
PV-GN-12	Unidireccional	M5	40	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M5H9040
PV-GN-13	Unidireccional	M5	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M5H9035
PV-GN-13	Unidireccional	M5	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M5H9030
PV-GN-13	Unidireccional	M5	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M5H9035
PV-GN-09	Unidireccional	M4	40	N/A	N/A	3	N/A	8	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	-0.5	1.5	9	W8M4H9040
PV-GN-14	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0	1	9	W4M4H9030
PV-GN-14	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0.7	0.3	9	W4M4H9030
PV-GN-15	Unidireccional	M4	40	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0.6	0.4	9	W4M4H9040
PV-GN-15	Unidireccional	M4	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	-0.5	1.5	9	W4M4H9035
PV-GN-14	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	3	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	-0.5	1.5	9	W4M4H9030
PV-GN-13	Unidireccional	M4	40	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	-0.5	1.5	9	W5M4H9040
PV-GN-13	Unidireccional	M4	40	N/A	N/A	3	N/A	6	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	-0.5	1.5	9	W6M4H9040
PV-GN-16	Unidireccional	M3	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M3H9035
PV-GN-16	Unidireccional	M3	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M3H9035
PV-GN-16	Unidireccional	M5	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M5H9035
PV-GN-16	Unidireccional	M3	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	9	W4M3H9035

PERFIL	DESCRIPCIÓN	TIPO DE VÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO (km/h)	ANCHO BERMA 1 (m)	ANCHO ZONA VERDE 1 (m)	ANCHO ANDEN 1 (m)	ANCHO CICLOVIA 1 (m)	ANCHO CALZADA 1 (m)	ANCHO CARRIL SP 1 (m)	ANCHO ANDEN CENTRAL (m)	ANCHO CARRIL SP 2 (m)	ANCHO CALZADA 2 (m)	ANCHO ZONA VERDE 2 (m)	ANCHO CICLOVIA 2 (m)	ANCHO ANDEN 2 (m)	ANCHO BERMA 2 (m)	BANTO (m)	AVANCE BANTO (m)	PARTE CICLOVIA (m)	PENDIENTE DE ANDENES	CODIGO PERFIL
PV-GN-01	Unidireccional	M3	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W4M3H9I35
PV-GN-02	Unidireccional	M3	35	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W5M3H9I38
PV-GN-03	Unidireccional	M3	40	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W5M3H9I40
PV-GN-04	Unidireccional	M4	35	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W5M4H9I35
PV-GN-05	Unidireccional	M4	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W4M4H9I35
PV-GN-06	Unidireccional	M4	35	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W4M4H9I35
PV-GN-07	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W4M4H9I30
PV-GN-08	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W4M4H9I30
PV-GN-09	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W4M4H9I30
PV-GN-10	Unidireccional	M4	30	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	0	P	W4M4H9I30

Tabla 3 Características geométricas y de instalación de los perfiles viales tipo.

CODIGO	PERFIL VIAL TIPO	DIRECCION
W9M2H11I40	PV-GN-01	Carrera 4 entre corredor inter-regional y la calle 13, dentro del perímetro urbano.
W8M3H9I38	PV-GN-02	Carrera 3 entre calle 2 y 13
W5M3H9I38	PV-GN-03	Carrera 2 entre calles 4 y 13; Calle 12ª o callejón villavanegas.; Calle 13 entre carrera 4 y 1N.
W6M3H9I35	PV-GN-04	Carrera 1N entre calle 6 y 14
W5M3H9I35	PV-GN-05	Calle 4 entre carrera 1N y 10; Calle 10 entre carrera 4 y corredor inter.-regional vía Pichichí
W4M4H8I40	PV-GN-06	Carrera 5
W4M4H9I35	PV-GN-07	Calle 11 y Calle 12
W9M4H7I35	PV-GN-08	Calle 3 entre carrera 2 y 7
W8M4H9I40	PV-GN-09	Calle 5 entre 1N y 7; Carrera 2N entre calle 6 y 13
W6M4H9I35	PV-GN-10	Calle 7 y 9 entre carrera 7 y 2N; Calle 11 y 12 entre carrera 4 y 2N; Carrera 6 entre calles 3 y 9

CODIGO	PERFIL VIAL TIPO	DIRECCION
W5M5H9I35	PV-GN-11	Carrera 4
W4M5H9I40	PV-GN-12	Carrera 6
W4M5H9I38	PV-GN-13	Carrera 7; Calle5; Calle 9
W6M4H9I38	PV-GN-14	Carrera 1 entre calle 3 y 13; Carrera 5 entre calle3 y 7; Calle 1 entre carreras 4 y 7
W6M4H9I40	PV-GN-15	Carrera 7 entre calles 1 y 7; Calle 6 entre carrera 2N y 7; Calle 8 entre carrera 2N y 4
W4M5H9I35	PV-GN-16	Calle 6; Calle 68; Calle 7; Calle 8; Calle 9
W5M5H9I38	PV-GN-17	Carrera 6
W5M6H9I40	PV-GN-18	Carrera 6A
W5M6H9I35	PV-GN-19	Carrera 7
W4M6H9I35	PV-GN-20	Carrera 8; Carrera 9; Carrera 10
W4M6H8I35	PV-GN-21	Calle 13

Esta segunda tabla sirve para que el lector entienda rápidamente la nomenclatura utilizada en los informes de Dialux y en los anexos.

3.4 Caracterización de los usuarios

La caracterización de los usuarios constituye uno de los criterios considerados para la selección de la clase de iluminación de las vías evaluadas, de conformidad con los lineamientos establecidos en el RETILAP.

En el municipio de Ginebra, las vías objeto del presente estudio cumplen principalmente una función de circulación vehicular, tanto en la cabecera municipal como en el centro poblado de Costa Rica y en la zona rural. En consecuencia, la selección de las clases de iluminación se orientó a la evaluación de corredores vehiculares de acuerdo con su jerarquía funcional y sus condiciones de operación.

Si bien existe circulación peatonal asociada al uso cotidiano de las vías urbanas y rurales, durante las actividades de diagnóstico no se identificaron corredores peatonales exclusivos ni zonas con alta concentración de peatones que requirieran una evaluación independiente mediante clases de iluminación peatonal (clases P). La circulación de peatones corresponde principalmente a desplazamientos locales hacia viviendas, establecimientos comerciales,

instituciones y equipamientos comunitarios, desarrollándose sobre los andenes o en los márgenes de la vía.

De igual forma, no se identificó infraestructura destinada al tránsito exclusivo de bicicletas, tales como ciclorrutas o ciclobandas, por lo que este tipo de usuario no constituyó un criterio de diseño para el presente estudio.

En consecuencia, las verificaciones fotométricas se desarrollaron mediante clases de iluminación vehicular (M), las cuales representan adecuadamente las condiciones funcionales y operativas de las vías evaluadas y satisfacen los requerimientos de visibilidad establecidos en el RETILAP para este tipo de infraestructura.

Tabla 4 Caracterización de los usuarios de las vías evaluadas.

Tipo de usuario	Condición en el proyecto
Vehicular	Usuario predominante en todos los corredores evaluados.
Peatonal	Presencia local y dispersa, sin corredores peatonales de importancia que requieran clasificación independiente.
Ciclistas	No se identificó infraestructura exclusiva para este tipo de usuario.

3.5 Características del pavimento

Las vías objeto de estudio corresponden, en su mayoría, a corredores pavimentados localizados tanto en la cabecera municipal de Ginebra como en el centro poblado de Costa Rica. Durante el proceso de caracterización y para efectos del análisis fotométrico, las superficies de rodadura fueron consideradas con una clasificación R2, de acuerdo con la clasificación de superficies de calzada establecida en el RETILAP para el desarrollo de simulaciones de luminancia.

La adopción de la clase R2 representa una condición de pavimento asfáltico convencional con características de reflexión ampliamente utilizadas en el diseño y evaluación de sistemas de alumbrado público. Esta condición fue empleada de manera uniforme en los modelos desarrollados en DIALux Evo, garantizando criterios homogéneos para la comparación de resultados entre los diferentes perfiles viales analizados.

La clasificación de la superficie de calzada utilizada en las simulaciones se encuentra en concordancia con los parámetros de reflexión definidos por el RETILAP para el cálculo de luminancia en vías vehiculares.

Tabla 5 Clasificación de la superficie de pavimento considerada en las simulaciones.

Parámetro	Valor adoptado
Tipo de superficie	Pavimento vehicular
Clasificación RETILAP	R2
Aplicación	Simulaciones fotométricas en DIALux Evo
Criterio de utilización	Evaluación de luminancia para vías vehiculares

3.6 Elementos laterales de la vía

Los elementos laterales presentes en las vías objeto de estudio fueron considerados durante la caracterización geométrica y la definición de los perfiles viales tipo, debido a que influyen en la ubicación de la infraestructura de alumbrado público, la distribución del flujo luminoso y las condiciones de visibilidad de los usuarios.

Durante las actividades de diagnóstico se identificó la presencia de andenes en la mayor parte de las vías urbanas, mientras que en el centro poblado de Costa Rica y en algunos corredores rurales predominan secciones viales sin infraestructura peatonal formal o con andenes de dimensiones reducidas. Asimismo, se verificó que la mayoría de las vías no cuentan con separadores centrales ni zonas verdes de ancho significativo que condicionen la disposición de las luminarias.

En el área de estudio no se identificó infraestructura destinada exclusivamente a la circulación de bicicletas, tales como ciclorutas o ciclobandas, razón por la cual este tipo de elemento no fue considerado dentro de los modelos de simulación fotométrica.

La información correspondiente a andenes, bermas, zonas verdes, separadores y demás componentes laterales fue incorporada en los perfiles viales utilizados en DIALux Evo, garantizando que las simulaciones representen adecuadamente las condiciones geométricas existentes de cada corredor analizado.

Tabla 6 Elementos laterales considerados en la caracterización de las vías.

Elemento	Condición identificada
Andenes	Presentes principalmente en la cabecera municipal, con anchos variables según el perfil vial.
Bermas	Presentes en algunos corredores rurales.

Zonas verdes	Presencia limitada: cuando existen fueron incorporadas en los perfiles tipo.
Separadores centrales	No se identificaron separadores de importancia en las vías evaluadas.
Ciclorrutas	No existen dentro del área objeto del estudio.
Arborización	Se presenta de manera puntual en algunos sectores, sin constituir una restricción general para el diseño del alumbrado público.

4. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL RETILAP

4.1 Criterios para la selección de la clase de iluminación

La selección de las clases de iluminación para las vías objeto del presente estudio se realizó de conformidad con los criterios establecidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), considerando la jerarquía funcional definida en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Ginebra, las características operacionales de cada corredor y los requerimientos de visibilidad para el tránsito vehicular.

Para la asignación de las clases de iluminación se tuvieron en cuenta aspectos como la función de la vía dentro de la red vial municipal, la composición del tránsito, las condiciones de circulación, el entorno urbano o rural y las características geométricas de cada tramo. Como resultado de este análisis se adoptaron clases de iluminación vehicular comprendidas entre M2 y M6, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 3.3.2.1.1.a del RETILAP para la selección de clases de iluminación en vías destinadas al tránsito motorizado.

La clasificación adoptada busca garantizar que los niveles de luminancia, uniformidad y control del deslumbramiento sean acordes con las condiciones reales de operación de cada corredor, proporcionando condiciones adecuadas de seguridad vial y confort visual para los usuarios.

La Tabla 7 presenta la relación entre la clasificación funcional de las vías y la clase de iluminación adoptada para el desarrollo de las simulaciones fotométricas.

Tabla 7 Clases de iluminación adoptadas para las vías evaluadas.

Clasificación funcional	Clase de iluminación
Vías arterias principales	M2 - M3
Vías arterias menores	M4
Vías colectoras	M4
Vías de servicio	M6
Vías rurales	M4 - M6

Fuente: *Elaboración propia con base en el EOT del municipio de Ginebra y los criterios de selección establecidos en la Tabla 3.3.2.1.1.a del RETILAP.*

4.2 Parámetros fotométricos exigidos

Los parámetros fotométricos considerados para la evaluación del sistema de alumbrado público fueron establecidos de conformidad con los requisitos definidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), de acuerdo con la clase de iluminación asignada a cada uno de los tramos evaluados.

Las simulaciones desarrolladas en DIALux Evo permitieron verificar el cumplimiento de los niveles mínimos de desempeño lumínico exigidos para las clases de iluminación vehicular adoptadas, evaluando los parámetros de luminancia o iluminancia, uniformidad, control del deslumbramiento y relación de entorno, según corresponda.

Para cada perfil vial tipo se compararon los resultados obtenidos con los valores establecidos en el RETILAP, verificando que las soluciones de iluminación propuestas proporcionen condiciones adecuadas de visibilidad, seguridad vial y confort visual para los usuarios.

Los criterios de aceptación utilizados durante la evaluación corresponden a los parámetros fotométricos establecidos en las Tablas 3.3.1.1.a y 3.3.1.1.b del RETILAP, los cuales definen los valores mínimos exigibles para las diferentes clases de iluminación vehicular.

Tabla 8 Parámetros fotométricos evaluados.

Parámetro	Descripción	Unidad
Luminancia media (L)	Nivel promedio de luminancia de la calzada.	cd/m²
Uniformidad general (Uo)	Relación entre la luminancia mínima y la luminancia media.	—
Uniformidad longitudinal (Ul)	Relación entre la luminancia mínima y máxima sobre el mismo carril.	—
Incremento de umbral (TI)	Evaluación del deslumbramiento incapacitante producido por las luminarias.	%
Relación de entorno (RE o EIR)	Relación entre la iluminación de las zonas laterales y la calzada, favoreciendo la percepción del entorno.	—

Fuente: *Elaboración propia con base en las Tablas 3.3.1.1.a y 3.3.1.1.b del RETILAP.*

4.3 Uso racional y eficiente de la energía

Uno de los objetivos del presente proyecto es mejorar la eficiencia energética del sistema de alumbrado público del municipio de Ginebra mediante la sustitución progresiva de luminarias con tecnologías de descarga por luminarias LED de mayor eficacia luminosa y menor consumo de energía, manteniendo el cumplimiento de los requisitos fotométricos establecidos en el RETILAP.

Como parte del diagnóstico se evaluó el consumo energético del sistema existente, identificando la presencia de luminarias de sodio de alta presión y halogenuros metálicos, las cuales presentan una mayor demanda energética y menores niveles de eficiencia en comparación con la tecnología LED actualmente disponible.

La propuesta de modernización contempla la implementación de luminarias LED con distribuciones fotométricas adecuadas para cada perfil vial, permitiendo reducir la potencia instalada sin afectar las condiciones de visibilidad requeridas para la circulación vehicular y peatonal.

Como resultado de la evaluación energética, el consumo mensual estimado del sistema disminuye de 69.601,14 kWh/mes a 42.552,96 kWh/mes, lo que representa una reducción aproximada del 38,9 % respecto al sistema existente. De igual manera, el costo mensual estimado por consumo de energía presenta una disminución de $58.229.337,60 a $34.680.662,40, equivalente a un ahorro cercano al 40,4 %.

Estos resultados evidencian que la solución propuesta cumple con los principios de uso racional y eficiente de la energía establecidos en el RETILAP, al reducir el consumo energético, mejorar la eficiencia del sistema de alumbrado público y disminuir los costos de operación, manteniendo los niveles de iluminación exigidos por la reglamentación vigente.

Tabla 9 Comparación del consumo energético del sistema de alumbrado público.

Concepto	Sistema existente	Sistema modernizado	Reducción
Consumo mensual (kWh/mes)	69.601,14	42.552,96	38,9 %
Costo mensual de energía ($)	$58.229.337,60	$34.680.662,40	40,4 %

Fuente: *Elaboración propia con base en el inventario del sistema de alumbrado público y el análisis energético del proyecto.*

Es importante precisar que los valores presentados corresponden a estimaciones obtenidas a partir del inventario del sistema de alumbrado público, las potencias consideradas en el diseño y las condiciones de operación adoptadas para el análisis. Los consumos y costos reales podrán variar durante la operación del sistema en función de las horas efectivas de funcionamiento, las tarifas de energía vigentes, las condiciones de mantenimiento, las pérdidas del sistema y demás variables operativas.

4.4 Condiciones ambientales de diseño

Las condiciones ambientales constituyen un factor determinante para la selección de los equipos de alumbrado público, debido a su influencia sobre la vida útil de las luminarias, el comportamiento de los materiales y la frecuencia de mantenimiento del sistema.

El municipio de Ginebra, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, presenta un clima cálido con períodos alternados de lluvia y sequía, condiciones que exigen la utilización de equipos diseñados para operar en ambientes exteriores y con adecuada resistencia frente a la humedad, la radiación solar, el polvo y demás agentes ambientales propios de la región.

Durante las actividades de diagnóstico no se identificaron ambientes con condiciones especiales de corrosión, tales como zonas marinas, industriales o con presencia permanente de agentes químicos que requirieran la adopción de medidas adicionales de protección para las luminarias o sus accesorios. No obstante, la exposición permanente a las condiciones ambientales propias del servicio hace necesario que los equipos cuenten con características constructivas acordes con los requisitos establecidos en el RETILAP y demás normas técnicas aplicables.

De igual manera, se considera que la implementación de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo permitirá conservar las condiciones fotométricas del sistema durante su vida útil, garantizando la continuidad del servicio y el cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos para cada clase de vía.

Tabla 10 Condiciones ambientales consideradas para el diseño.

Parámetro	Condición considerada
Ubicación	Municipio de Ginebra, Valle del Cauca
Ambiente de instalación	Exterior
Condiciones climáticas	Clima cálido con periodos de lluvia y sequía
Ambiente corrosivo	No se identifican condiciones especiales de corrosión
Contaminación ambiental	Baja a moderada, propia de un entorno urbano y rural
Estrategia de mantenimiento	Mantenimiento preventivo y correctivo periódico

Fuente: *Elaboración propia con base en las condiciones observadas durante el diagnóstico y los criterios de diseño del proyecto.*

Clima

Ginebra posee un clima templado-húmedo característico de la zona andina cafetera. La temperatura media anual se sitúa alrededor de los 21 °C, con variaciones suaves entre el día y la noche. Aunque no enfrenta extremos térmicos, las condiciones de humedad relativa suelen ser elevadas, con valores que frecuentemente superan el 70 %. El régimen de precipitaciones es alto, con lluvias distribuidas durante buena parte del año y con picos en los periodos de transición climática. Estas condiciones demandan la instalación de luminarias y equipos eléctricos con altos niveles de hermeticidad (mínimo IP66), óptimas capacidades de disipación térmica y materiales resistentes a ambientes húmedos, corrosivos y propensos al ingreso de partículas en suspensión.

El clima húmedo y la variación térmica nocturna influyen directamente en la vida útil de luminarias LED y en la estabilidad de conexiones eléctricas, lo que hace indispensable la selección de equipos certificados, con sistemas de protección contra humedad, corrosión y condensación interna.

Topografía

El territorio de Ginebra se caracteriza por un relieve montañoso, con oscilaciones altitudinales que van desde zonas bajas en áreas cafeteras hasta laderas más pronunciadas en sectores rurales. La cabecera urbana se encuentra alrededor de los 1.300 metros sobre el nivel del mar, lo cual influye tanto en el comportamiento térmico de los equipos como en las cargas mecánicas a las que se someten postes y estructuras.

Las pendientes moderadas a fuertes en zonas veredales dificultan la instalación de postes y redes, exigiendo cimentaciones reforzadas, mayor profundidad en zapatas, uso de postes de fibra de vidrio o metálicos galvanizados, y medidas de estabilización del terreno. La topografía accidentada también impacta la logística de mantenimiento, incrementando costos y tiempos de atención, por lo que es necesario contar con luminarias y redes confiables, con tasas de falla reducidas y soporte mecánico adecuado.

Ecosistemas y Biodiversidad

Ginebra hace parte del paisaje cafetero tradicional, con presencia de bosques de galería, guaduales, áreas de cultivo de café, cultivos mixtos y zonas de pastos. La abundante cobertura vegetal genera sombras naturales, obstrucciones y variabilidad en la iluminación de vías y espacios públicos, lo que obliga a seleccionar luminarias con ópticas bien definidas, adecuados niveles de uniformidad y distribuciones fotométricas que minimicen contrastes excesivos.

La fauna local, especialmente aves nocturnas e insectos asociados a áreas húmedas, requiere que los sistemas de alumbrado reduzcan al mínimo el flujo hemisférico superior, la dispersión lumínica y el deslumbramiento, en cumplimiento con los lineamientos del RETILAP sobre control de contaminación lumínica. El uso de

luminarias LED con ópticas asimétricas, distribución precisa y control espectral favorece la protección del entorno natural.

Calidad del aire

En la cabecera urbana, los niveles de contaminación atmosférica suelen ser bajos, pero en áreas rurales con vías sin pavimentar es común la presencia de polvo en suspensión. Estos materiales se depositan sobre las ópticas y difusores de las luminarias, reduciendo la transmisión de luz y afectando la uniformidad del sistema. Por ello, en los diseños luminotécnicos se recomienda aplicar factores de mantenimiento altos y seleccionar luminarias con difusores de fácil limpieza y materiales resistentes a abrasión.

Agua y recursos hídricos

El municipio se encuentra influenciado por microcuencas, quebradas y afluentes que incrementan la humedad ambiental y generan riesgos de anegamiento y socavación del suelo en temporadas de lluvias intensas. Esto exige un diseño cuidadoso de cimentaciones, preferiblemente con sistemas que garanticen estabilidad estructural incluso en suelos saturados.

En zonas con alta exposición a humedad constante debe verificarse que los materiales eléctricos, cajas de conexiones, fotoceldas y conducciones cuenten con sellos adecuados, sistemas anticorrosivos y protecciones contra descargas atmosféricas.

Contaminación lumínica

En el municipio, la contaminación lumínica es baja en zonas rurales y moderada en zonas urbanas. Sin embargo, la presencia de luminarias obsoletas y no certificadas ha generado problemas de deslumbramiento, falta de uniformidad, derroche energético y dispersión lumínica hacia fachadas y cielo nocturno.

La modernización del sistema deberá incorporar luminarias LED certificadas, con curvas fotométricas apropiadas para vías urbanas y rurales, control estricto del flujo superior y tecnologías que permitan reducir la intrusión lumínica, optimizar el confort visual y cumplir los requisitos normativos vigentes.

Suelos

En Ginebra predominan suelos arcillosos y arenosos en zonas rurales, con tendencia a la erosión durante temporadas de lluvia. Esto puede comprometer la estabilidad de la infraestructura del alumbrado, especialmente en laderas. En la cabecera urbana, los suelos suelen ser más compactos y aptos para cimentaciones convencionales.

En áreas rurales con procesos erosivos activos se recomienda el uso de bases ciclópeas, zapatas profundas y elementos de soporte con recubrimientos

anticorrosivos que garanticen la estabilidad de las estructuras durante toda su vida útil.

Condiciones rurales y periurbanas

El municipio posee una amplia zona rural conformada por veredas dispersas, con vías estrechas, suelos húmedos, acceso limitado y escasa infraestructura de alumbrado público. En estos sectores se encuentra un predominio de luminarias obsoletas, tecnologías no normativas y soluciones improvisadas.

Dado el alto costo de expansión de redes tradicionales en estas áreas, es recomendable considerar soluciones de iluminación autónoma con luminarias solares LED, baterías de litio, sistemas de control inteligente y elementos estructurales resistentes a humedad, viento y corrosión. Estas soluciones favorecen la cobertura rural, reducen los costos operativos y mejoran la sostenibilidad del sistema.

4.5 Coexistencia con arborización e infraestructura existente

Durante el levantamiento de información en campo se evaluó la interacción del sistema de alumbrado público con la infraestructura existente y los elementos presentes en el espacio público, con el fin de identificar posibles interferencias que afectaran el desempeño fotométrico de las instalaciones o la seguridad de su operación.

Se observó que, aunque existen sectores con presencia de arborización urbana y rural, esta corresponde principalmente a individuos aislados o alineaciones dispersas que, en términos generales, no generan obstrucciones significativas sobre la distribución del flujo luminoso de las luminarias propuestas. En los casos donde se identificó vegetación cercana a los puntos de iluminación, se consideró su ubicación durante la definición de los perfiles viales y el desarrollo de las simulaciones fotométricas.

Asimismo, la infraestructura existente, conformada por postes, redes eléctricas, edificaciones y demás elementos urbanos, fue considerada durante la caracterización geométrica de las vías, procurando mantener la ubicación de las luminarias en condiciones que favorezcan la continuidad del alumbrado, la facilidad de mantenimiento y la seguridad de la infraestructura.

Con base en las condiciones observadas, no se identificaron restricciones de carácter técnico que impidan la implementación de las soluciones de alumbrado propuestas.

Tabla 11 Evaluación de la coexistencia con elementos existentes.

Elemento	Condición observada
Arborización	Presencia puntual, sin interferencias significativas con el sistema de alumbrado.
Redes eléctricas	Compatibles con la infraestructura existente.
Postes existentes	Aprovechables en la mayoría de los corredores evaluados.
Edificaciones	Sin afectaciones relevantes sobre la distribución de la iluminación.
Restricciones identificadas	No se evidenciaron restricciones técnicas de importancia para la implementación del proyecto.

Fuente: *Elaboración propia con base en el diagnóstico de campo.*

4.6 Compatibilidad con el ordenamiento territorial

La caracterización y clasificación de las vías objeto del presente estudio se desarrolló en concordancia con el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Ginebra, el cual establece la jerarquización funcional de la red vial urbana y del centro poblado de Costa Rica. Esta información constituyó la base para la definición de las clases de iluminación aplicables y para el desarrollo de las simulaciones fotométricas realizadas en el proyecto.

Las soluciones de alumbrado propuestas respetan la estructura vial definida por el instrumento de ordenamiento territorial y conservan la funcionalidad de cada corredor, garantizando que los niveles de iluminación correspondan con las características operacionales de las vías y con los criterios establecidos en el RETILAP.

Durante la revisión documental y el reconocimiento de campo no se identificaron sectores declarados como centros históricos, bienes de interés cultural o zonas patrimoniales que requirieran la aplicación de criterios especiales de iluminación, restricciones sobre el tipo de luminarias o tratamientos particulares para la infraestructura de alumbrado público.

En consecuencia, las soluciones técnicas planteadas son compatibles con el ordenamiento territorial vigente del municipio y no presentan incompatibilidades con las disposiciones urbanísticas aplicables para las áreas evaluadas.

Tabla 12 Compatibilidad con el ordenamiento territorial.

Aspecto evaluado	Resultado
Instrumento de planificación	Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Ginebra
Clasificación vial	Conforme a la jerarquización establecida en el EOT
Compatibilidad urbanística	Cumple
Sectores históricos o patrimoniales	No se identificaron dentro de las áreas objeto de diseño
Restricciones especiales para alumbrado	No se evidenciaron

Fuente: *Elaboración propia con base en el EOT del municipio de Ginebra y el diagnóstico técnico del proyecto.*

4.7 Separación entre postes e interdistancias

La separación entre postes y la interdistancia entre luminarias fueron definidas considerando las características geométricas de cada corredor vial, la altura de montaje, el ancho de la calzada, la distribución de las luminarias y la clase de iluminación asignada de acuerdo con el RETILAP.

Para optimizar el diseño y representar las condiciones predominantes del municipio, las vías fueron agrupadas en veintiún (21) perfiles viales tipo, cada uno con parámetros geométricos y de instalación representativos. A partir de estos perfiles se establecieron interdistancias aproximadas entre luminarias de 35 m, 38 m y 40 m, valores que fueron ajustados durante el proceso iterativo de simulación fotométrica en Dialux Evo hasta obtener el cumplimiento de los parámetros exigidos por el RETILAP.

Debe precisarse que las interdistancias indicadas corresponden a valores de diseño y representan una aproximación para cada perfil vial. Durante la etapa de construcción podrán realizarse ajustes menores derivados de las condiciones reales del terreno, la ubicación de la infraestructura existente, la presencia de redes de servicios públicos, accesos vehiculares, arborización u otros elementos que condicionen la localización definitiva de los postes, siempre que dichos ajustes no afecten el cumplimiento de los requisitos fotométricos establecidos en la reglamentación vigente.

Tabla 13 Interdistancias adoptadas para los perfiles viales tipo.

Interdistancia aproximada (m)	Aplicación
35	Perfiles viales con mayores restricciones geométricas o menores anchos de calzada.
38	Perfiles con condiciones geométricas intermedias.
40	Perfiles con mayor altura de montaje o geometría favorable para ampliar la separación entre luminarias.

Fuente: *Elaboración propia con base en las simulaciones fotométricas realizadas en Dialux Evo.*

4.8 Distribución espacial de la iluminación

Uno de los criterios fundamentales considerados durante el diseño del sistema de alumbrado público fue garantizar la continuidad visual a lo largo de los corredores viales evaluados, con el propósito de proporcionar condiciones adecuadas de percepción para conductores y demás usuarios de la vía durante el periodo nocturno.

Para ello, se definieron perfiles viales representativos y se seleccionaron configuraciones de altura de montaje, disposición de luminarias, distribución fotométrica e interdistancias que permiten mantener una transición gradual entre las áreas iluminadas, evitando cambios bruscos de luminancia o iluminancia que puedan afectar la percepción visual o incrementar el riesgo de incidentes.

Las simulaciones desarrolladas en Dialux Evo permitieron verificar que las soluciones propuestas proporcionan una distribución uniforme de la iluminación sobre la superficie de la calzada, cumpliendo los niveles de uniformidad establecidos por el RETILAP para cada clase de iluminación considerada en el proyecto.

Debe indicarse que la continuidad visual dependerá igualmente de la correcta ejecución de la obra, del mantenimiento periódico del sistema y de la conservación de las condiciones geométricas del corredor vial, especialmente en lo relacionado con la arborización y otros elementos que puedan generar obstrucciones al flujo luminoso.

Tabla 14 Verificación de la continuidad visual.

Criterio evaluado	Resultado
Distribución uniforme de la iluminación	Cumple

Criterio evaluado	Resultado
Transición entre luminarias	Continua
Zonas oscuras entre puntos de luz	No se evidencian en las simulaciones
Uniformidad fotométrica	Verificada mediante simulación en Dialux Evo
Cumplimiento RETILAP	Conforme a la clase de iluminación correspondiente

Fuente: Elaboración propia con base en las simulaciones fotométricas desarrolladas para el proyecto.

4.9 Evaluación técnico-económica

La selección de las soluciones de iluminación consideradas para el proyecto se realizó mediante una evaluación integral que contempla criterios técnicos, fotométricos, energéticos, operativos y económicos. El análisis no se limitó al cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos por el RETILAP, sino que consideró igualmente la eficiencia de las luminarias, la optimización de la potencia instalada, la compatibilidad con la infraestructura existente, la vida útil de los equipos y los costos asociados a la operación y mantenimiento del sistema.

Desde el componente técnico, las configuraciones evaluadas fueron definidas de acuerdo con las características geométricas y funcionales de los perfiles viales representativos del municipio. Para cada configuración se analizaron la altura de montaje, la disposición de las luminarias, la longitud y avance del brazo, las interdistancias y la distribución fotométrica requerida, procurando obtener condiciones adecuadas de visibilidad y uniformidad mediante el uso eficiente de la energía.

La evaluación fotométrica permitió seleccionar soluciones capaces de satisfacer los parámetros establecidos para las diferentes clases de iluminación consideradas, evitando el sobredimensionamiento de las potencias y la generación de niveles de iluminación superiores a los técnicamente requeridos. Este criterio permite reducir consumos energéticos innecesarios y optimizar el aprovechamiento del flujo luminoso sobre las superficies objeto de iluminación.

Desde el punto de vista económico, la modernización del sistema debe considerar tanto la inversión inicial requerida para el suministro e instalación de las luminarias como los costos asociados al consumo de energía, mantenimiento, reposición de componentes y operación durante la vida útil del proyecto. En este sentido, las soluciones basadas en tecnología LED representan una alternativa favorable debido a su menor demanda energética, mayor vida útil y reducción esperada en

la frecuencia de las actividades de mantenimiento, en comparación con tecnologías convencionales de iluminación.

La incorporación de luminarias programables y con posibilidad de integración futura a sistemas de telegestión permitirá fortalecer el control operativo del sistema, facilitar la identificación de fallas, realizar seguimiento a los consumos y establecer estrategias de regulación del flujo luminoso cuando las condiciones técnicas, operativas y normativas lo permitan.

La evaluación técnico-económica deberá complementarse con el análisis consolidado del inventario municipal, la potencia instalada actual y proyectada, los consumos de energía, los costos de operación y mantenimiento, el presupuesto de inversión y las alternativas de financiación definidas para la ejecución del proyecto. Los indicadores económicos específicos, tales como período de recuperación de la inversión, valor presente neto, tasa interna de retorno y relación beneficio–costo, deberán desarrollarse dentro del componente económico y financiero correspondiente.

De manera general, las soluciones seleccionadas presentan condiciones técnicamente favorables para la modernización del sistema de alumbrado público, al permitir el cumplimiento de los requisitos fotométricos aplicables, mejorar la eficiencia energética y contribuir a la reducción de los costos operativos durante la vida útil del proyecto.

Tabla 15 Evaluación general de criterios técnicos y económicos

Criterio evaluado	Resultado de la evaluación
Cumplimiento de parámetros fotométricos	Favorable, conforme con la clase de iluminación evaluada
Adecuación a los perfiles viales	Compatible con las condiciones geométricas consideradas
Optimización de la potencia instalada	Considerada mediante la selección de potencias acordes con los requerimientos lumínicos
Eficiencia energética	Favorable mediante la utilización de tecnología LED
Aprovechamiento del flujo luminoso	Optimizado mediante la selección de distribuciones fotométricas adecuadas
Compatibilidad con la infraestructura existente	Sujeta a la verificación técnica particular de cada punto de instalación
Vida útil de las lumina	Favorable para la reducción de reposiciones durante la operación
Costos de operación y mantenimiento	Se prevé una reducción frente a tecnologías convencionales

Criterio evaluado	Resultado de la evaluación
Posibilidad de programación y telegestión	Considerada dentro de las características técnicas de modernización
Viabilidad económica	Sujeta al presupuesto definitivo, flujo financiero y esquema de financiación
Evaluación integral de la solución	Técnicamente favorable

Fuente: *Elaboración propia con base en los criterios técnicos, energéticos y económicos considerados para la modernización del sistema de alumbrado público del municipio de Ginebra.*

5. SISTEMA DE ALUMBRADO PROPUESTO

El sistema de alumbrado propuesto para el municipio de Ginebra fue definido a partir de las condiciones geométricas y funcionales identificadas en los corredores viales evaluados, considerando la clasificación de las vías, los parámetros fotométricos exigidos, la infraestructura existente y los resultados obtenidos mediante las simulaciones desarrolladas en DIALux evo.

La configuración adoptada busca garantizar condiciones adecuadas de visibilidad, uniformidad, eficiencia energética y seguridad para los diferentes usuarios del espacio público. Para ello, se establecieron parámetros específicos relacionados con la disposición de las luminarias, la altura de montaje, las interdistancias, las características de los brazos y la distribución fotométrica requerida para cada perfil vial.

Las soluciones propuestas fueron evaluadas mediante los veintiún (21) perfiles viales representativos definidos para el proyecto, los cuales permiten agrupar corredores con características geométricas y operativas similares. La configuración definitiva de cada tramo deberá conservar los parámetros considerados en las simulaciones fotométricas y ajustarse a las condiciones verificadas durante la etapa de ejecución.

5.1 Disposición de luminarias.

La disposición de las luminarias fue definida considerando el ancho de las calzadas, la ubicación de la infraestructura existente, las alturas de montaje, las interdistancias entre puntos luminosos y las características fotométricas de las luminarias evaluadas.

Para los perfiles viales considerados se adoptó principalmente una disposición unilateral, en la cual los puntos de iluminación se localizan sobre uno de los costados de la vía. Esta configuración responde a las condiciones geométricas predominantes de los corredores evaluados y permite aprovechar la infraestructura existente, reduciendo la necesidad de incorporar nuevos elementos de soporte.

La disposición unilateral fue analizada individualmente para cada perfil mediante simulaciones fotométricas, verificando que la distribución del flujo luminoso permitiera alcanzar los niveles de iluminación y uniformidad requeridos para la clase de alumbrado correspondiente. La selección de las luminarias y sus distribuciones fotométricas se realizó buscando proyectar adecuadamente la luz sobre el ancho útil de la calzada y limitar la generación de zonas con iluminación insuficiente.

La ubicación de cada luminaria deberá conservar la orientación, altura de montaje, longitud del brazo, avance sobre la calzada e interdistancia consideradas en el modelo fotométrico correspondiente. Cualquier modificación significativa de estos parámetros deberá ser evaluada técnicamente, debido a que puede modificar la distribución luminosa y afectar los resultados de cumplimiento obtenidos.

En aquellos sectores donde las condiciones reales de la infraestructura, la arborización, las redes existentes o las características particulares del entorno dificulten la implementación de la configuración propuesta, deberán realizarse los ajustes correspondientes mediante una verificación fotométrica complementaria.

Tabla 16. Criterios considerados para la disposición de las luminarias

Criterio evaluado	Configuración o consideración adoptada
Disposición predominante	Unilateral
Ubicación de los puntos luminosos	Sobre uno de los costados del corredor vial
Infraestructura de soporte	Aprovechamiento de la infraestructura existente, cuando sus condiciones técnicas lo permitan
Geometría vial	Evaluada individualmente para cada perfil representativo
Cobertura de la calzada	Verificada mediante simulaciones fotométricas
Distribución del flujo luminoso	Seleccionada de acuerdo con el ancho de la vía y la clase de iluminación
Uniformidad	Verificada para cada perfil vial mediante DIALux evo
Orientación de las luminarias	Conforme con la configuración utilizada en la simulación correspondiente
Modificación de la disposición	Requiere verificación técnica y fotométrica cuando altere las condiciones del diseño

Fuente: *Elaboración propia con base en los perfiles viales y las simulaciones fotométricas desarrolladas para el proyecto.*

5.2 Altura de montaje

La altura de montaje de las luminarias fue definida de acuerdo con el ancho de las calzadas, la clasificación de las vías, la disposición de los puntos luminosos y las condiciones geométricas de cada perfil evaluado.

Para las simulaciones fotométricas se consideraron alturas entre 7 m y 11 m, siendo 9 m la altura predominante. Las configuraciones de 7 m, 8 m y 11 m se aplicaron en perfiles con condiciones particulares de instalación.

Las alturas seleccionadas fueron verificadas mediante simulaciones en DIALux evo, evaluando su efecto sobre la cobertura, la uniformidad y la distribución de la iluminación. Durante la ejecución deberán conservarse los valores definidos para cada perfil, debido a que modificaciones significativas pueden alterar los resultados fotométricos obtenidos.

Tabla 17 Alturas de montaje consideradas en los perfiles viales

Altura de montaje	Aplicación general
7 m	Configuración particular para perfiles con condiciones geométricas específicas
8 m	Aplicada en corredores seleccionados de acuerdo con las condiciones de instalación
9 m	Altura predominante en los perfiles viales evaluados
11 m	Configuración utilizada en corredores con mayor ancho de calzada o condiciones particulares de instalación

Fuente: *Elaboración propia con base en los parámetros geométricos de los perfiles viales y las simulaciones fotométricas desarrolladas en DIALux evo.*

5.3 Interdistancia

La interdistancia entre luminarias fue definida de acuerdo con la geometría de cada perfil vial, la altura de montaje, el ancho de la calzada y la distribución fotométrica de las luminarias seleccionadas.

Para las simulaciones se consideraron interdistancias de 35 m, 38 m y 40 m, establecidas según las condiciones representativas de los corredores evaluados. Estos valores permitieron obtener una distribución adecuada de la iluminación y verificar el cumplimiento de los parámetros fotométricos correspondientes.

Durante la ejecución deberán conservarse las interdistancias definidas para cada perfil. Las variaciones significativas deberán ser evaluadas mediante una verificación fotométrica, debido a que pueden afectar los niveles de iluminación y uniformidad obtenidos.

Tabla 18 Interdistancias consideradas en los perfiles viales

Interdistancia	Aplicación general
35 m	Aplicada en perfiles con condiciones geométricas que requieren menor separación entre puntos luminosos
38 m	Utilizada en corredores con condiciones intermedias de ancho y configuración vial
40 m	Aplicada en perfiles donde la altura y la distribución fotométrica permiten una mayor separación

Fuente: Elaboración propia con base en los parámetros geométricos de los perfiles viales y las simulaciones desarrolladas en DIALux evo.

5.4 Voladizo

El voladizo de las luminarias fue definido de acuerdo con la ubicación de los postes respecto a la calzada, la longitud de los brazos y las condiciones geométricas de cada perfil vial.

Las configuraciones evaluadas consideran brazos con longitudes entre 0,5 m y 1,2 m, ajustados según la separación existente entre el poste y el borde de la calzada. Estos parámetros fueron incorporados en las simulaciones fotométricas con el fin de garantizar una adecuada proyección del flujo luminoso sobre la superficie vial.

Durante la ejecución deberán conservarse las condiciones de voladizo definidas para cada perfil, debido a que modificaciones significativas pueden alterar la distribución de la iluminación y los resultados fotométricos obtenidos.

Tabla 19 Parámetros generales de voladizo considerados

Parámetro	Valor o consideración
Longitud de brazo	Entre 0,5 m y 1,2 m
Ubicación del poste	Variable según las condiciones geométricas del perfil vial
Proyección sobre la calzada	Definida de acuerdo con la posición del poste y la longitud del brazo
Verificación	Incorporada en las simulaciones fotométricas desarrolladas en DIALux evo

Modificaciones en obra	Requieren verificación técnica cuando alteren la configuración del diseño

Fuente: *Elaboración propia con base en los parámetros geométricos de los perfiles viales y las simulaciones desarrolladas en DIALux evo.*

5.5 Inclinación

La inclinación de las luminarias fue definida de acuerdo con la configuración geométrica de cada perfil vial, la ubicación de los postes y la distribución fotométrica requerida sobre la calzada.

Los valores adoptados corresponden a las condiciones utilizadas en las simulaciones desarrolladas en DIALux evo y deberán mantenerse durante la instalación. Cualquier modificación deberá ser verificada técnicamente, debido a que puede alterar la orientación del flujo luminoso, la uniformidad y el control del deslumbramiento.

Tabla 20 Criterios considerados para la inclinación de las luminarias

Criterio evaluado	Consideración adoptada
Definición de la inclinación	De acuerdo con la configuración de cada perfil vial
Orientación del flujo luminoso	Dirigida hacia la superficie objeto de iluminación
Verificación fotométrica	Incorporada en las simulaciones desarrolladas en DIALux evo
Instalación	Conforme con los valores definidos en el diseño
Modificaciones en obra	Requieren verificación técnica y fotométrica

Fuente: *Elaboración propia con base en los parámetros de montaje y las simulaciones fotométricas desarrolladas para el proyecto.*

5.6 Especificación de luminarias

Las luminarias consideradas en el diseño fueron seleccionadas de acuerdo con las características geométricas de los perfiles viales, la clase de iluminación requerida y los resultados obtenidos mediante las simulaciones fotométricas desarrolladas en DIALux evo.

Para el proyecto se evaluaron diferentes referencias comerciales y distribuciones fotométricas, seleccionando en cada perfil la alternativa que permitiera cumplir los requisitos de iluminación, uniformidad, eficiencia energética y control del deslumbramiento establecidos para la vía correspondiente.

Las características definitivas de potencia, flujo luminoso, temperatura de color, distribución fotométrica, vida útil y demás parámetros técnicos deberán corresponder con la información contenida en las fichas técnicas, archivos fotométricos y certificados aplicables de cada luminaria. Las referencias utilizadas en las simulaciones corresponden a los modelos relacionados a continuación.

Tabla 21 Luminarias utilizadas en las simulaciones fotométricas

Fabricante	Referencia o modelo
ROY ALPHA S.A.	RALED II PLUS
ECOELECTRIC	LUMINARIA ZAFIRO
PRAHA LIGHTING	INS-2-80-5-2M-1-L-W-0-4-N-1-0

Fuente: *Elaboración propia con base en las luminarias utilizadas en las simulaciones fotométricas desarrolladas en DIALux evo.*

5.7 Certificaciones y documentación técnica

Las luminarias y demás equipos considerados para la ejecución del proyecto deberán contar con los certificados de conformidad aplicables y vigentes al momento de su suministro e instalación, de acuerdo con los requisitos establecidos en el RETILAP y demás disposiciones técnicas correspondientes.

Adicionalmente, deberán disponer de fichas técnicas, archivos fotométricos y documentación emitida por el fabricante que permita verificar las características utilizadas en las simulaciones, incluyendo potencia, flujo luminoso, distribución fotométrica, temperatura de color, vida útil y demás parámetros relevantes.

Los equipos finalmente suministrados deberán conservar características técnicas y fotométricas iguales o equivalentes a las consideradas en los modelos desarrollados en DIALux evo. Cuando se propongan referencias diferentes, deberá verificarse previamente que su desempeño permita mantener el cumplimiento de los parámetros establecidos para cada perfil vial.

Tabla 22 Documentación técnica requerida para las luminarias

Documento o requisito	Verificación
Certificado de conformidad de producto	Vigente y aplicable al equipo suministrado

Documento o requisito	Verificación
Ficha técnica del fabricante	Debe contener las características eléctricas, mecánicas y fotométricas
Archivo fotométrico	Compatible con programas de simulación lumínica
Potencia nominal	Conforme con la referencia utilizada en el diseño
Flujo luminoso	Conforme con la información técnica del fabricante
Distribución fotométrica	Igual o equivalente a la utilizada en las simulaciones
Temperatura de color	Conforme con las especificaciones definidas para el proyecto
Información de vida útil	Soportada mediante documentación técnica
Garantía del producto	Conforme con las condiciones establecidas para el proyecto
Referencias alternativas	Requieren verificación técnica y fotométrica previa

Fuente: *Elaboración propia con base en los requisitos técnicos definidos para el proyecto.*

6. VERIFICACIÓN FOTOMÉTRICA

6.1 Metodología de cálculo

La verificación fotométrica del sistema de alumbrado propuesto se realizó mediante simulaciones desarrolladas en DIALux evo, utilizando las condiciones geométricas y de instalación definidas para cada uno de los perfiles viales representativos.

En los modelos se incorporaron parámetros como el ancho de la calzada, la clase de iluminación, la disposición de las luminarias, la altura de montaje, la interdistancia, las características del brazo y la información fotométrica correspondiente a las luminarias seleccionadas.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos por el RETILAP para cada clase de iluminación, verificando los parámetros de luminancia o iluminancia, uniformidad y demás criterios aplicables.

Para el proyecto se desarrollaron veintiún (21) modelos de simulación, correspondientes a los perfiles viales definidos para los corredores evaluados.

Tabla 23 Metodología utilizada para la verificación fotométrica

Etapa	Actividad realizada
Caracterización geométrica	Definición de las dimensiones y condiciones de cada perfil vial
Clasificación de iluminación	Asignación de la clase correspondiente según las características de la vía
Modelación	Construcción de los perfiles viales en DIALux evo
Incorporación de luminarias	Uso de archivos fotométricos correspondientes a las referencias seleccionadas
Simulación	Cálculo de los parámetros lumínicos para cada perfil
Verificación	Comparación de los resultados con los requisitos establecidos por el RETILAP
Documentación	Generación de informes y evidencias gráficas para cada simulación

Fuente: *Elaboración propia con base en la metodología aplicada en las simulaciones fotométricas desarrolladas en DIALux evo.*

6.2 Parámetros de simulación

Las simulaciones fotométricas se desarrollaron considerando las condiciones geométricas y de instalación definidas para cada uno de los perfiles viales representativos del municipio de Ginebra.

En cada modelo se incorporaron el ancho de la calzada, la clase de iluminación, la disposición de las luminarias, la altura de montaje, la interdistancia, las características del brazo y la ubicación del punto luminoso respecto a la superficie vial.

Asimismo, se utilizaron los archivos fotométricos correspondientes a las luminarias seleccionadas, conservando sus características de potencia, flujo luminoso y distribución luminosa. Los parámetros fueron ajustados individualmente de acuerdo con las condiciones particulares de cada perfil vial.

Tabla 24 Parámetros generales utilizados en las simulaciones fotométricas

Parámetro	Valor o condición considerada
Software de simulación	DIALux evo
Número de perfiles simulados	21
Clases de iluminación	M2, M3, M4, M5 y M6
Disposición predominante	Unilateral
Ancho de calzada	Entre 4 m y 9 m
Alturas de montaje	7 m, 8 m, 9 m y 11 m
Interdistancias	35 m, 38 m y 40 m
Longitud de brazo	Entre 0,5 m y 1,2 m
Tipo de superficie vial	Pavimento tipo R2
Información fotométrica	Archivos correspondientes a las luminarias seleccionadas
Geometría de evaluación	Definida de acuerdo con las condiciones de cada perfil vial
Parámetros de verificación	Luminancia o iluminancia, uniformidad y demás criterios aplicables

Fuente: *Elaboración propia con base en los parámetros utilizados en las simulaciones fotométricas desarrolladas en DIALux evo.*

6.3 Resultados obtenidos

Los resultados de las simulaciones fotométricas permitieron evaluar el comportamiento de las soluciones propuestas para cada uno de los veintiún (21) perfiles viales definidos en el proyecto.

Para cada perfil se verificaron los parámetros aplicables de acuerdo con la clase de iluminación correspondiente, incluyendo luminancia o iluminancia promedio, uniformidad, incremento de umbral y demás criterios establecidos por el RETILAP.

De manera general, las configuraciones evaluadas presentaron una adecuada distribución de la iluminación sobre la superficie vial y permitieron verificar el cumplimiento de los requisitos fotométricos definidos para las clases de iluminación M2, M3, M4, M5 y M6.

Los valores específicos obtenidos para cada perfil se presentan en los informes individuales generados mediante DIALux evo, los cuales forman parte de los anexos de la presente memoria.

Tabla 25 Parámetros geométricos utilizados en las simulaciones fotométricas

Perfil	Código	Altura (m)	Inclinación (°)	Longitud del brazo (m)	Disposición	Ancho de calzada (m)	Clase	Firme
PV-GN-01	W9M2H11140	11	0	2,0	Unilateral	9	M2	R2
PV-GN-02	W8M3H9138	9	0	1,5	Unilateral	8	M3	R2
PV-GN-03	W5M3H9138	9	0	1,5	Unilateral	5	M3	R2
PV-GN-04	W6M3H9135	9	0	1,5	Unilateral	6	M3	R2
PV-GN-05	W5M3H9135	9	0	1,5	Unilateral	5	M3	R2
PV-GN-06	W4M4H8840	8	10	1,5	Unilateral	4	M4	R2
PV-GN-07	W4M4H9135	9	0	1,5	Unilateral	4	M4	R2
PV-GN-08	W9M4H7135	7	0	1,5	Unilateral	9	M4	R2
PV-GN-09	W8M4H9140	9	0	2,0	Unilateral	8	M4	R2
PV-GN-10	W6M4H9135	9	0	2,0	Unilateral	6	M4	R2
PV-GN-11	W5M5H9135	9	0	2,0	Unilateral	5	M5	R2
PV-GN-12	W4M5H9140	9	0	1,2	Unilateral	4	M5	R2
PV-GN-13	W4M5H9138	9	0	1,5	Unilateral	4	M5	R2
PV-GN-14	W6M4H9138	9	0	1,5	Unilateral	6	M4	R2
PV-GN-15	W6M4H9140	9	0	1,5	Unilateral	6	M4	R2

Perfil	Código	Altura (m)	Inclinación (°)	Longitud del brazo (m)	Disposición	Ancho de calzada (m)	Clase	Firme
PV-GN-16	W4M5H9035	9	0	1.5	Unilateral	4	M5	R2
PV-GN-17	W5M5H9035	9	0	1.5	Unilateral	5	M5	R2
PV-GN-18	W5M6H9040	9	0	1.5	Unilateral	5	M6	R2
PV-GN-19	W5M6H9035	9	0	1.5	Unilateral	5	M6	R2
PV-GN-20	W4M6H9035	9	0	1.5	Unilateral	4	M6	R2
PV-GN-21	W4M6H8035	8	0	1.5	Unilateral	4	M6	R2

Fuente: Elaboración propia con base en los parámetros utilizados en las simulaciones desarrolladas en DIALux evo.

Tabla 26 Resultados consolidados de las simulaciones fotométricas

Perfil	Alternativa	Potencia (W)	Lm (cd/m²)	Uo	Ui	TI (%)	Rm (lx)	G1	Resultado
PV-GN-01	Luminaria 1	139,9	1,74	0,63	0,82	10	24,7	0,43	Cumple
PV-GN-01	Luminaria 2	140	1,57	0,54	0,81	10	24,2	0,36	Cumple
PV-GN-01	Luminaria 3	145	2,01	0,55	0,73	10	25,3	0,61	Cumple
PV-GN-02	Luminaria 1	75	1,06	0,80	0,60	8	10,0	0,36	Cumple
PV-GN-02	Luminaria 2	70	1,07	0,43	0,71	15	14,0	0,52	Cumple
PV-GN-02	Luminaria 3	70	1,13	0,47	0,67	15	14,8	0,49	Cumple
PV-GN-03	Luminaria 1	80	1,20	0,51	0,60	7	19,2	0,36	Cumple
PV-GN-03	Luminaria 2	80	1,50	0,57	0,72	13	17,5	0,49	Cumple
PV-GN-03	Luminaria 3	80	1,55	0,58	0,63	14	17,8	0,54	Cumple
PV-GN-04	Luminaria 1	80	1,24	0,53	0,62	7	20,8	0,42	Cumple
PV-GN-04	Luminaria 2	80	1,52	0,55	0,77	13	18,6	0,54	Cumple
PV-GN-04	Luminaria 3	80	1,58	0,58	0,70	14	19,2	0,57	Cumple
PV-GN-05	Luminaria 1	80	1,30	0,56	0,62	6	20,9	0,41	Cumple
PV-GN-05	Luminaria 2	80	1,68	0,62	0,69	14	19,3	0,59	Cumple
PV-GN-05	Luminaria 3	80	1,62	0,60	0,77	13	19,0	0,52	Cumple
PV-GN-06	Luminaria 1	60	0,81	0,42	0,60	15	12,3	0,30	Cumple
PV-GN-06	Luminaria 2	60	1,17	0,49	0,60	15	13,4	0,37	Cumple
PV-GN-06	Luminaria 3	60	0,91	0,57	0,60	14	10,7	0,35	Cumple
PV-GN-07	Luminaria 1	60	0,84	0,60	0,62	5	12,5	0,41	Cumple
PV-GN-07	Luminaria 2	60	0,93	0,75	0,86	11	10,9	0,45	Cumple

Perfil	Alternativa	Potencia (W)	Lm (cd/m²)	Uo	Ul	TI (%)	Em (lx)	G1	Resultado
PV-GN-07	Luminaria 3	60	1,21	0,64	0,76	12	13,7	0,55	Cumple
PV-GN-08	Luminaria 1	60	0,75	0,51	0,61	8	12,7	0,41	Cumple
PV-GN-08	Luminaria 2	60	0,80	0,61	0,63	11	10,6	0,48	Cumple
PV-GN-08	Luminaria 3	60	0,97	0,45	0,77	14	12,6	0,48	Cumple
PV-GN-09	Luminaria 1	60	0,79	0,42	0,60	7	13,8	0,33	Cumple
PV-GN-09	Luminaria 2	60	0,80	0,52	0,74	14	10,9	0,44	Cumple
PV-GN-09	Luminaria 3	60	0,80	0,40	0,66	15	10,6	0,42	Cumple
PV-GN-10	Luminaria 1	60	0,99	0,55	0,62	6	16,2	0,41	Cumple
PV-GN-10	Luminaria 2	60	1,02	0,67	0,84	11	13,0	0,46	Cumple
PV-GN-10	Luminaria 3	60	1,04	0,53	0,75	13	12,9	0,53	Cumple
PV-GN-11	Luminaria 1	40	0,62	0,58	0,61	5	9,72	0,41	Cumple
PV-GN-11	Luminaria 2	40	0,71	0,73	0,85	11	8,71	0,45	Cumple
PV-GN-11	Luminaria 3	40	0,89	0,57	0,75	12	10,5	0,55	Cumple
PV-GN-12	Luminaria 1	40	0,56	0,50	0,48	6	8,33	0,33	Cumple
PV-GN-12	Luminaria 2	40	0,66	0,67	0,75	12	7,60	0,40	Cumple
PV-GN-12	Luminaria 3	40	0,84	0,59	0,64	12	9,32	0,48	Cumple
PV-GN-13	Luminaria 1	40	0,59	0,54	0,54	5	8,76	0,36	Cumple
PV-GN-13	Luminaria 2	40	0,69	0,71	0,80	11	8,00	0,42	Cumple
PV-GN-13	Luminaria 3	40	0,88	0,63	0,67	12	9,81	0,51	Cumple
PV-GN-14	Luminaria 1	60	0,78	0,50	0,60	6	13,0	0,36	Cumple
PV-GN-14	Luminaria 2	60	0,78	0,63	0,78	11	9,94	0,43	Cumple
PV-GN-14	Luminaria 3	60	0,96	0,47	0,69	14	12,1	0,45	Cumple
PV-GN-15	Luminaria 1	60	0,75	0,47	0,60	7	12,3	0,32	Cumple
PV-GN-15	Luminaria 2	60	0,89	0,60	0,74	12	11,3	0,41	Cumple
PV-GN-15	Luminaria 3	60	0,91	0,45	0,65	14	11,5	0,43	Cumple
PV-GN-16	Luminaria 1	40	0,64	0,59	0,61	5	9,15	0,41	Cumple
PV-GN-16	Luminaria 2	40	0,75	0,75	0,86	11	8,68	0,45	Cumple
PV-GN-16	Luminaria 3	40	0,96	0,66	0,75	11	10,6	0,56	Cumple
PV-GN-17	Luminaria 1	40	0,57	0,54	0,54	6	8,95	0,36	Cumple
PV-GN-17	Luminaria 2	40	0,66	0,69	0,79	11	8,02	0,42	Cumple
PV-GN-17	Luminaria 3	40	0,82	0,53	0,67	12	9,71	0,50	Cumple
PV-GN-18	Luminaria 1	30	0,54	0,50	0,48	6	8,51	0,32	Cumple
PV-GN-18	Luminaria 2	30	0,63	0,66	0,74	11	7,62	0,40	Cumple