ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE ALUMBRADO PÚBLICO CONTEMPLANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

RICHARD ESNEIDER REYES ACOSTA

MARLON DAVID MARTINEZ MOLINA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ DC
2021

ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE ALUMBRADO PÚBLICO CONTEMPLANDO ENERGÍA FOTOVOLTAICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

RICHARD ESNEIDER REYES ACOSTA
MARLON DAVID MARTINEZ MOLINA

Monografía para optar al título de:
Ingeniero Eléctrico

Director:
PhD. Francisco David Moya Chaves

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ DC
2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____
Firma Director

_____
Firma Jurado

_____
Firma Ponente 1

_____
Firma Ponente 2

_____
Fecha de aprobación

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedicamos a nuestras familias quienes supieron tener la paciencia para vernos lograr cumplir este anhelado logro en nuestras vidas, con esfuerzo, dedicación y lucha, esto es y será siempre, más de ustedes que nuestro.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a nuestro director de proyecto el doctor Francisco David Moya Chaves por su paciencia y guía durante la realización de este proyecto, también al ingeniero Jairo Pinzón de Sylvania por facilitarnos la información necesaria y por estar siempre presto a colaborarnos con la mejor actitud y a toda la planta de docentes del proyecto de Ingeniería Eléctrica por su noble labor pedagógica.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1

2. MARCO TEÓRICO 3

2.1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE ALUMBRADO PÚBLICO 3

2.2. CONSIDERACIONES DEL ALUMBRADO PÚBLICO COLOMBIANO 4

2.3. REQUERIMIENTOS DE ILUMINACIÓN SEGÚN LA VÍA 5

2.3.1. NIVELES EXIGIDOS DE LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN ALUMBRADO PÚBLICO, POR EL RETILAP 9

2.4. LOCALIZACIÓN DE LAS LUMINARIAS, SEGÚN RETILAP 9

2.4.1. DISPOSICIÓN DE LOS POSTES 10

a. Disposición unilateral 10

b. Central doble 11

c. Bilateral alternada 11

d. Bilateral opuesta sin separador 11

e. Bilateral opuesta con separador 12

2.4.2. CASOS ESPECIALES 12

a. Disposición en curvas 13

b. Disposición de luminarias en calzadas con pendiente 14

2.5. BRAZOS DE ALUMBRADO PÚBLICO 14

2.6. FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE 16

2.6.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA 16

2.6.2. RADIACIÓN SOLAR 16

2.6.3. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS 17

2.6.4. DE CONEXIÓN A RED 18

2.6.5. AUTÓNOMOS 18

2.6.6. DE BOMBEO 19

2.6.7. FOTOVOLTAICO 20

2.6.8. TIPOS DE MÓDULOS Y SUS CÉLULAS 20

2.6.9. BATERÍAS PARA LOS MÓDULOS FV 21

2.6.10. MARCO NORMATIVO REFERENTE A ENERGÍAS NO CONVENCIONALES RENOVABLES EN EL PAÍS 23

2.6.11. LEY 1715 DE 2014 23

2.7. PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL 23

2.8. ESTRUCTURA DEL MERCADO ELÉCTRICO EN EL PAÍS 25

2.9. ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA 26

3. DESARROLLO DE ESTUDIO FOTOMÉTRICO 28

3.1. GENERALIDADES 28

3.2. ESTUDIO FOTOMÉTRICO 29

4. ESTUDIO TÉCNICO CONTEMPLANDO LA ALTERNATIVA CONVENCIONAL UTILIZANDO LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SITIO 34

4.1. GENERALIDADES Y PRECISIONES TÉCNICAS 34

4.2. MEMORIAS DE CÁLCULO 37

4.2.1. CÁLCULO DE LAS LUMINARIAS 37

4.2.2. REGULACIÓN DE TENSIÓN 38

5. ESTUDIO TÉCNICO CONSIDERANDO UNA ALTERNATIVA SOLAR FOTOVOLTAICA INDEPENDIENTE 40

5.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO 41

5.2. RADIACIÓN SOLAR EN EL MUNICIPIO DE BOJACÁ 41

5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 42

5.3.1. PANELES 43

5.3.2. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO 47

5.4. SOFTWARE PVSYSTEM 48

6. ESTUDIO ECONÓMICO 56

6.1. COSTOS DE LA ALTERNATIVA CONVENCIONAL HACIENDO USO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA ZONA 56

6.2. COSTOS DE INVERSIÓN PARA LA ALTERNATIVA SOLAR FOTOVOLTAICA 58

7. COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE ALTERNATIVAS 59

7.1. FACTOR DE MANTENIMIENTO Y PERIODO DE CAMBIO DE LUMINARIAS 59

7.2. VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS DEL SISTEMA FUNCIONAL CON RED DE DISTRIBUCIÓN 61

7.2.1. VIDA ÚTIL DEL TRANSFORMADOR 61

7.3. VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA FUNCIONAL CON ALTERNATIVA FOTOVOLTAICA 61

7.3.1. VIDA ÚTIL DEL PANEL SOLAR 62

7.3.2. VIDA ÚTIL DE LA BATERÍA 62

7.4. ESCENARIO ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS 62

7.4.1. ESCENARIO ECONÓMICO DE LA ALTERNATIVA CONVENCIONAL 62

7.4.2. ESCENARIO ECONÓMICO ALTERNATIVA FOTOVOLTAICA 65

7.5. DISCUSIÓN COMPARATIVA 67

8. NUEVAS TECNOLOGÍAS Y USO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN ALUMBRADO PÚBLICO 70

8.1. EFICIENCIA DE LAS LUMINARIAS TIPO LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO 71

8.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y VISIÓN ARTIFICIAL 72

8.2.1. METODOS DE CAPTURA DE IMAGEN 73

8.3. ANÁLISIS DE ARTÍCULOS DE REFERENCIA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES 74

8.3.1. ARTÍCULO I 74

8.3.2. ARTÍCULO II 76

8.3.3. ARTÍCULO III 78
8.3.4. ARTÍCULO IV 79
8.3.5. ARTÍCULO V 80
8.3.6. ARTÍCULO VI 81
8.4. DISCUSIÓN 84
8.5. PROPUESTA PARA COMPLEMENTACIÓN DE DISEÑO 85
9. CONCLUSIONES 90
10. RECOMENDACIONES 92
11. REFERENCIAS 93
12. ANEXOS 101

Lista de Tablas

Tabla 1. Requerimientos de iluminación para vías vehiculares. 5
Tabla 2. Variación en las Clases de iluminación por el tipo de vía, complejidad de circulación y control de tráfico. 6
Tabla 3. Clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas. 6
Tabla 4. Requisitos fotométricos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada. 7
Tabla 5. Requisitos mínimos de iluminación para vías peatonales. 7
Tabla 6. Requisitos fotométricos para áreas críticas. 8
Tabla 7. Clases de iluminación en áreas críticas vehiculares. 8
Tabla 8. Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclorrutas y andenes adyacentes. 9
Tabla 9. Recomendaciones básicas para ubicación de luminarias. 10
Tabla 10. Generalidades de la vía objeto de estudio. 29
Tabla 11. Resumen estudio fotométrico en Dialux Evo. 33
Tabla 12. Clasificación de las secciones viales. 34
Tabla 13. Características técnicas del conductor 12 AWG, según Enel Codensa. 36
Tabla 14. Requerimientos energéticos del sistema FV. 42
Tabla 15. Datos técnicos de las alternativas encontradas en el mercado. 44
Tabla 16. Ficha técnica del panel solar. 46
Tabla 17. Costos asociados a materiales y demás ítems. para un sistema de iluminación aprovechando la red de distribución. 57
Tabla 18. Costos asociados a materiales y a otros ítems para un sistema de iluminación con la alternativa solar fotovoltaica. 59
Tabla 19. Factores de ensuciamiento de las luminarias. 60
Tabla 20. Proyección del valor de la energía para el año 2021 64
Tabla 21. Comparativa de características técnicas entre alternativas. 68
Tabla 22. Comparativo precio del kWh. 69
Tabla 23. Franjas horarias según nivel de tráfico. 85
Tabla 24. Amortización y detalle de plan de pagos. 105

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Disposición unilateral 10
Ilustración 2: Disposición central doble 11
Ilustración 3: Disposición bilateral alterna 11
Ilustración 4: Disposición bilateral opuesta sin separador 12
Ilustración 5: Disposición bilateral opuesta con separador 12
Ilustración 6. Disposición de las luminarias en puntos donde existen curvas. 13
Ilustración 7. Disposición de luminarias en una vía con pendiente. 14
Ilustración 8. Brazo de un solo doblez a 15°. 15
Ilustración 9. Brazo de dos dobleces a 0° 15
Ilustración 10: Tipos de radiación en energía solar 17
Ilustración 11: Esquema General SFCR 18
Ilustración 12. Componentes de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua. 19
Ilustración 13. Módulo compuesto por células de silicio monocristalino. 20
Ilustración 14. Usos, aplicaciones y tipos de Placas Solares. 21
Ilustración 15. Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas y tipos de SV. 22
Ilustración 16. Matriz energética de centrales en Colombia. 24
Ilustración 17. Matriz energética de centrales asociadas a Acolgen. 25
Ilustración 18. Estructura del sector eléctrico en Colombia. 26
Ilustración 19. Atlas radiación solar en Colombia. 27
Ilustración 20. Ubicación de la vía objeto de estudio. 28
Ilustración 21. Distancia medida usando Google Earth, entre los extremos de la vía objeto de estudio. 29
Ilustración 22. Selección tipo de vía según la Tabla 1. 30
Ilustración 23. Selección de tipo de vía según Tabla 2. 30
Ilustración 24. Selección de tipo de vía peatonal según la Tabla 3. 30
Ilustración 25. Parámetros fotométricos según la Tabla 4. 31
Ilustración 26. Parámetros requeridos para la parte peatonal según la Tabla 5. 31
Ilustración 27. Requerimientos fotométricos generalizados según la Tabla 8. 31
Ilustración 28. Disposición de luminarias en la vía según la Tabla 9. 32
Ilustración 29. Distribución de luminarias en las curvas de la vía. 33
Ilustración 30. Ejemplo de la disposición final del conductor 12 AWG, según Enel Codensa. 36
Ilustración 31. Modulaciones típicas de instalaciones de Alumbrado Público para vías tipo V-7, V-8 y V-9. 37
Ilustración 32. Diagrama unifilar para una sola luminaria. 38
Ilustración 33. Datos de radiación solar en un año típico en el municipio de Bojacá en Cundinamarca. 41
Ilustración 34. Dimensiones panel fotovoltaico seleccionado. 45
Ilustración 36. Captura de pantalla de la ventana inicial del software PVSyst. 49
Ilustración 37. Captura de pantalla de Nuevo Proyecto del software PVSystem. 50
Ilustración 38. Ventana de selección de ubicación geográfica en el software PVSystem. 50
Ilustración 39. Panel de selección de bases de datos y selección de coordenadas del sitio del software PVSystem. 51
Ilustración 40. Selección del ángulo de inclinación. 52
Ilustración 41. Definición de necesidades del usuario. 53
Ilustración 42. Selección del tipo de batería y panel, como del controlador y tipo de refrigeración de la batería. 53
Ilustración 43. Vista de perspectiva sin árboles de ningún costado de la vía. 54
Ilustración 44. Escenario de simulación de sombreado con presencia de árboles en el costado oriental. 55

Ilustración 45. Escenario de simulación de sombreado con presencia de árboles en ambos costados de la vía. _____ *55*
Ilustración 46. Depreciación del flujo luminoso en la luminaria. _____ *60*
Ilustración 47. Variación del precio del kWh (enero 2018 – diciembre 2020) _____ *63*
Ilustración 48. Participación de la tecnología LED en el mundo. _____ *72*
Ilustración 49. Proceso básico a seguir por un sistema de visión artificial. _____ *73*
Ilustración 50. Diagrama de flujo básico de funcionamiento del sistema. _____ *75*
Ilustración 51. Modelo RGB de adición de colores primarios. _____ *76*
Ilustración 52. Componentes de una cámara de red. _____ *77*
Ilustración 53. Sistema planteado para el control del sistema de iluminación en la ciudad de Semnan, Irán. *77*
Ilustración 54. Descripción básica del funcionamiento del ARLS. _____ *78*
Ilustración 55. Representación ejemplar de la zona ROI. _____ *79*
Ilustración 56. Arquitectura del sistema. _____ *80*
Ilustración 57. Aplicación de cámaras en la ingeniería de tráfico. _____ *81*
Ilustración 58. Automóviles captados desde diferentes ángulos. _____ *83*
Ilustración 59. Ejemplo de variación del tamaño de los vehículos dependiendo del ángulo en el que se observen. _____ *83*
Ilustración 60. Propuesta de ubicación de las cámaras en la vía objeto de estudio; (a) tramo más cerca a Bojacá y (b) tramo más cerca a El Corzo. _____ *86*
Ilustración 61. Diagrama de bloques del sistema de cámaras. _____ *88*
Ilustración 62. Diagrama de flujo de proceso que cumpliría cada cámara. _____ *89*

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Bojacá, en Cundinamarca, hace parte de los 116 municipios adscritos a la jurisdicción de la gobernación del departamento, sus límites territoriales son, por el norte: Zipacón, Madrid y Facatativá; por el este: Madrid y Mosquera; por el sur: Soacha y San Antonio del Tequendama; y por el oeste: Tena, La Mesa y Zipacón. A pesar de que estos son límites territoriales, el corredor vial más frecuentado por usuarios de vehículos, motocicletas, peatones y ciclistas, es la vía que comunica al municipio de Bojacá con la vereda de El Corzo que está dentro de la jurisdicción del municipio de Madrid, aunque no es la única vía para entrar al municipio, si es la más frecuentada y la que está en mejores condiciones para ser transitada por la población.

Actualmente la vía mencionada no cuenta con el servicio de alumbrado público, esto incrementa el riesgo de accidentes ya que el perímetro vial cuenta con una ciclorruta que es usada por muchos biciusuarios, ya sea porque laboran en las empresas cercanas o por temas de movilización únicamente; que en ocasiones están obligados a usar la calzada vehicular debido a la falta de iluminación de la vía. Dentro del marco legal, la vía objeto de discusión está en medio de dos municipios, Bojacá y Madrid, lo cual ha dificultado la realización de este tipo de proyectos en la vía dados a la falta de comunicación y gestión por parte de los dos gobiernos municipales.

Al hablar de Alumbrado Público, en el caso particular de Colombia, se hace referencia al Servicio Público no domiciliario que debe ser proporcionado por el estado y que busca proporcionar, de forma adecuada y continua, la iluminación de zonas y bienes públicos, zonas de circulación, ya sea vehicular o peatonal, en un municipio o distrito y su perímetro, ya sea rural o urbano.

Los municipios o distritos son los responsables de velar porque este servicio público se preste de forma continua y de que sea benéfico para la población tanto habitante de las poblaciones, como flotante de las mismas; para esto es necesaria la administración, la modernización, expansión y mantenimiento que pueda tener lugar dentro de la red de alumbrado público, de la misma manera el municipio es el responsable de gravar el impuesto al AP (Alumbrado Público), el cual se va a destinar para todo lo mencionado previamente; cada municipalidad puede o no tercerizar la prestación del servicio, depende de los gobiernos municipales el destinar la actividad del recaudo a una empresa externa.

De acuerdo a lo anterior, el objeto del documento está centrado en mostrar el desarrollo de un estudio técnico-económico de un proyecto de iluminación pública vial, mediante la exposición de propuestas de fuentes convencionales y no convencionales de energía; esta última fotovoltaica para ser más precisos, y también mediante el uso de nuevas tecnologías de automatización, para la vía que comunica al municipio de Bojacá con la vereda El Corzo.

La realización de dicho estudio está basada en la normativa técnica vigente en el país como RETILAP (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público), CREG (Comisión Reguladora de Energía y Gas), Resoluciones del Ministerio de Minas y Energía, normativa propia del operador de red en la zona de impacto de la investigación, que para este caso es Enel Codensa, aspectos territoriales por parte de los dos municipios implicados en la posible realización del proyecto, entre otros aspectos.

En cuanto al uso de las nuevas tecnologías de automatización para el alumbrado público y gestión eficiente de la energía, las principales referencias están en el exterior, ya que en el país hay poca información referente a iniciativas que hayan tenido en cuenta la inclusión y el desarrollo de este tipo de tecnologías. El uso de estas tecnologías es de vital importancia cuando de eficiencia energética se habla, ya que mediante su uso y gestión es posible llegar a reducir en gran medida el consumo de energía eléctrica por parte de los sistemas de iluminación existentes hoy en día no solo en nuestro país sino en gran parte del mundo, reduciendo a su vez la huella de emisiones de $C0_2$ que se envían a la atmosfera. Si se habla particularmente de la visión artificial como alternativa para el progreso de la automatización en los sistemas de alumbrado público, es evidente que es una gran alternativa, sin embargo, una de sus grandes limitaciones, como de muchas otras tecnologías que buscan el avance en materia energética, son los altos costos de producción, instalación y mantenimiento, así como la poca investigación local en este ámbito.

2. MARCO TEÓRICO

Cuando se habla de alumbrado público se hace referencia a un servicio que proporciona el estado, esto significa que no es domiciliario, cuya finalidad es brindar iluminación y guías visuales a espacios que son de carácter público donde existe circulación de personas o de vehículos, estos espacios pueden estar dentro de perímetros urbanos o rurales dentro de la jurisdicción nacional [1].

De la misma manera podría definirse al servicio de iluminación como un servicio no domiciliario que se presta con el fin de iluminar lugares de libre circulación, parques, vías y demás espacios que se encuentren dentro de la jurisdicción de un municipio o del país, y que tiene como finalidad permitir y facilitar el desarrollo de actividades nocturnas dentro de los perímetros urbano y rural [1]. Sin olvidar que también funciona como generador de sensación de seguridad para los peatones y como facilitador de visualización para conductores de vehículos.

Además de energía eléctrica, para lograr prestar este servicio se requiere también de otras consideraciones como operación, administración, mantenimiento, actualización o modernización, expansión del sistema, entre otros, que generalmente están a cargo de los municipios o del Estado, según el caso. Otra consideración muy importante a tener en cuenta es el espacio a iluminar ya que existen factores determinantes que influyen a la hora de realizar un diseño de iluminación como, por ejemplo: tipo de vía, su caracterización según normativa nacional, necesidades de iluminación, actividades que se realizan en el lugar, seguridad de la ubicación, dimensiones de las calzadas, etc.

Las obligaciones por parte de los entes territoriales parece ser un tema de nunca acabar debido a los vacíos existentes en la normativa nacional RETILAP, con respecto a aplicaciones y algunos criterios que obligan a los municipios e incluso a operadores de red, cuando estos son contratados como terceros por parte de las alcaldías para prestar el servicio de iluminación pública, a producir normas adicionales a las que ya están establecidas, sin ir en contra directamente de estas, sino más bien dando otro enfoque a la norma [1].

2.1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE ALUMBRADO PÚBLICO

Al hablar de alumbrado público hay que tener en cuenta diversos y numerosos factores y conceptos que tienen lugar dentro de lo que conforma un sistema de alumbrado público, algunos de estos son mencionados a continuación y están adaptados o tomados de algunas precisiones que emitió el MinMinas sobre algunos de los conceptos utilizados en el RETILAP:

- **Luminaria**: Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación [2].
- **Vía**: Espacio destinado al tránsito de vehículos, este puede ser en uno o más sentidos y a su vez está conformado por calzadas, separadores y aceras. [1]
- **Bombilla o lámpara:** El término es usado para denotar fuentes que emiten radiación (luz) en regiones del espectro adyacentes a la zona visible.

- **Iluminancia (E):** Densidad del fujo luminoso que incide sobre una superficie, la unidad de medida de la luminancia es el lux (lx).
- **Lumen (lm):** Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI).
- **Sistema vial:** Red jerarquizada de vías en un municipio o distrito dispuesta para su movilidad y que permite su conexión con la red vial regional y nacional.
- **Carril:** Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.
- **Berma:** Parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente el estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia.
- **Glorieta:** Intersección donde no hay cruces directos sino maniobras de entrecruzamientos y movimientos alrededor de una isleta o plazoleta central.

2.2. CONSIDERACIONES DEL ALUMBRADO PÚBLICO COLOMBIANO

El RETILAP es el reglamento técnico que tiene por objeto fundamental establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente [3].

Los proyectos de alumbrado público requieren del estudio de múltiples factores por ejemplo técnicos, económicos y sociales, dichos proyectos deben cumplir con el reglamento técnico establecido y vigente en el país (RETILAP) con el fin de lograr suplir la necesidad de una determinada población que así lo requiera para así mejorar su calidad de vida. Algunos de estos factores son los siguientes:

- La complejidad y la velocidad de la vía o vías.
- Tránsito de vehículos y control de tráfico.
- Tipos de vías.
- Tránsito de peatones.
- Necesidad de diferenciación de los objetos presentes en el ambiente.
- Necesidades de los usuarios del sector.
- Nivel de seguridad del sector.
- Necesidad de conservar el carácter arquitectónico del lugar.
- Posibles proyectos de expansión.
- Disponibilidad del espacio suficiente para el proyecto.
- Ubicación de otros servicios públicos cuya reubicación es más costosa o es inviable.
- Presencia de árboles e interferencias de los mismos en las redes de AP y en la iluminación.
- Nivel de contaminación existente y de la iluminación.

Además de los factores previamente mencionados, también se deben conocer las condiciones físicas, geográficas y arquitectónicas del sitio o espacio a iluminar, sus condiciones ambientales y su

entorno, dependiendo de estas condiciones se deben tomar las consideraciones necesarias que conduzcan a obtener resultados satisfactorios acordes al reglamento vigente. De la misma manera es necesario estructurar un plan de mantenimiento para el sistema que garantice el correcto funcionamiento del proyecto durante su vida útil.

2.3. REQUERIMIENTOS DE ILUMINACIÓN SEGÚN LA VÍA

Según el RETILAP existen cinco tipos de vías vehiculares clasificadas según su velocidad de circulación promedio, así como también la cantidad de vehículos que la transitan en una hora, obteniendo de esta manera una clasificación para la iluminación según sus exigencias, siendo M1 el de mayores requerimientos y M5 el de menor. Dicha clasificación se relaciona en la Tabla 1.

Clase de Iluminación	**Descripción de Vía**	**Velocidad de circulación (km/h)**		**Tránsito de vehículos T (Veh/h)**	
M1	Autopistas y carreteras	Extra Alta	V>80	Muy importante	T>1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M3	Vías principales y ejes viales	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M4	Vías primerias o conectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy Reducida	Al paso	Muy Reducida	T<100

Tabla 1. Requerimientos de iluminación para vías vehiculares.
Adaptado de: [3]

Además de lo anterior, el reglamento también menciona otros aspectos importantes que deben ser tenidos en cuenta, entre ellos se encuentran la complejidad de la vía, la existencia o no de separadores, el número de carriles que existen, si existen o no controles de tráfico, etc. Cuando se habla de complejidad de la vía se hace referencia a su infraestructura, tráfico y sus alrededores, el número de carriles, la inclinación, intersecciones viales, etc. Debido a estos factores se puede hacer una agrupación de las vías vehiculares.

Descripción de la vía	**Tipo de iluminación**
Vías de extra alta velocidad, con calzadas separadas exentas de cruces de nivel y con accesos completamente controlados (Autopistas expresas). Con densidad de tráfico y complejidad de circulación.	
Alta T>1000 (Veh/h)	M1
Media 500<T<1000 (Veh/h)	M2
Baja T<500 (Veh/h)	M3

Vías de extra alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía.	
Escaso	M1
Suficiente	M2
Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía	
Escaso	M2
Bueno	M3
Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales, vías de acceso a propiedades individuales y a otras conectoras más importantes. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía	
Escaso	M4
Bueno	M5

Tabla 2. Variación en las Clases de iluminación por el tipo de vía, complejidad de circulación y control de tráfico.

Adaptado de: [3]

En el caso de las vías de tráfico peatonal y de ciclistas, la iluminación debe garantizar que estos puedan distinguir las texturas y el diseño del pavimento, escalones, marcas y señales, de la misma manera debe ayudar a evitar agresiones al transitar por las vías [3]. En la siguiente tabla adaptada de la norma, se presentan las diferentes clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales.

Descripción de calzada	Clase de Iluminación
Vías de muy elevado prestigio urbano	P1
Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas	P2
Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas	P3
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes	P4
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.	P5
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente	P6
Vías en donde únicamente se requiere una guía visual suministrada por la luz directa de las luminarias	P7

Tabla 3. Clases de iluminación para diferentes tipos de vías en áreas peatonales y de ciclistas.

Adaptado de: [3]

Un aspecto que se debe tener en cuenta debido a su importancia con respecto a la clasificación anterior, es decir, la de la Tabla 3, es que esta aplica para senderos peatonales adyacentes a vías que sean vehiculares. Esta clasificación está ligada con la clasificación misma de la vía, por lo cual para una vía M1 la clasificación para el sendero peatonal será de P1 [1].

Es importante resaltar que la norma menciona que en los sistemas de alumbrado público que hagan uso de la infraestructura de red eléctrica de uso general, sobre los cuales se requiera realizar ajustes para cumplir con los niveles de iluminación y coeficiente de uniformidad exigidos en el reglamento, se deberá modificar la luminaria y/o la potencia de la fuente, así como la forma y longitud del brazo [3].

Una vez establecidos los requerimientos de iluminación teniendo en cuenta las características de las vías, se procede a asignar una clase de iluminación, la cual establece los requisitos fotométricos mínimos para luminancia, que deben ser mantenidos. En la siguiente tabla se encuentran las diferentes clases de iluminación únicamente en piso seco, ya que la norma no contiene información sobre piso húmedo o mojado.

Clase de iluminación	**Zona de aplicación**				
	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio L_{prom} (cd/m^2) Mínimo Mantenido	Factor de uniformidad U_0 Mínimo	Incremento de umbral TI% Máximo Inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_l mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M1	2.0	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N. R	N. R
M5	0,6	0,4	15	N. R	N. R

Tabla 4. Requisitos fotométricos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada.

Adaptado de: [3]

La siguiente tabla relaciona los requisitos de iluminación para vías peatonales y de ciclistas en luxes, según la clase de iluminación.

Clase de iluminación	**Iluminancia Horizontal (luxes)**	
	Valor Promedio	Valor mínimo
P1	20,0	7,5
P2	10,0	3,0
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	1,5	0,2
P7	No aplica	No aplica

Tabla 5. Requisitos mínimos de iluminación para vías peatonales.

Adaptado de: [3]

El RETILAP menciona también menciona algunos requisitos de iluminación para las que se consideran como *áreas críticas,* siendo estas todos los lugares que presenten unos requerimientos especiales de iluminación como zonas verdes, parques dentro de unidades residenciales, lo cual significa que son todas las áreas de las que no hay especificación en el reglamento pero que requieren de iluminación [1].

Clase de iluminación	Iluminancia Mínima Mantenida (luxes) (Sobre toda la superficie)	Uniformidad general $U_0 \geq (\%)$
C0	50	40
C1	30	40
C2	20	40
C3	15	40
C4	10	40
C5	7.5	40

Tabla 6. Requisitos fotométricos para áreas críticas.
Adaptado de: [3]

Además, cuando estas áreas críticas están relacionadas con vías vehiculares como zonas adyacentes o que conforman la topología de la vía, se deberán revisar las siguientes consideraciones:

Área crítica		Clase de iluminación del área crítica (C) según clase de la vía a la que pertenece (M)
Pasos subterráneos		C(N) = M(N)
Intersecciones, cruces, rampas, puentes, entradas a divergencias o convergencias, áreas con ancho de carriles restringidos		C(N) si M(N)
Cruces ferroviarios	Simples	C(N) sí M(N)
	Complejos	C(N-1) si M(N)
Glorietas sin señalización	Grandes	C1
	Medianas	C2
	Pequeñas	C3
Área vehicular en fila de espera (ej.: Aeropuertos, terminales de transporte, etc.)	Grandes	C1
	Medianas	C3
	Pequeñas	C5
Túneles		Seguir recomendaciones de la norma CIE 88

Tabla 7. Clases de iluminación en áreas críticas vehiculares.
Adaptado de: [3]

De la misma manera, se menciona también que es necesario considerar los factores de depreciación luminosa incidente que luego se condensan en único resultado final llamado ***Factor de Mantenimiento.***

2.3.1. NIVELES EXIGIDOS DE LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN ALUMBRADO PÚBLICO, POR EL RETILAP

En la Tabla 8 se mencionan los valores mínimos con los que se debe diseñar y, según el caso, construir los sistemas de alumbrado público, esto dependiendo del tipo de vías en cada municipio, se debe considerar el tipo de calzada, las ciclorrutas, los andenes adyacentes, todo esto como componentes del espacio público.

Tipo de vía	**Calzadas vehiculares**				**Ciclorrutas adyacentes**		**Relación de alrededores**		
							En andenes adyacentes		Alrededor sin andenes
Clase de iluminación	L_{prom} cd/m^2	U_0 ≥ %	U_I ≥ %	**TI** ≤ %	E_{prom} **luxes**	U_0 ≥ %	E_{prom} **luxes**	U_0 ≥ %	**SR** **%**
M1	2,0	40	50	10	20	40	13	33	50
M2	1,5	40	50	10	20	40	10	33	50
M3	1,2	40	50	10	15	40	9	33	50
M4	0,8	40	N.R.	15	10	40	6	33	N.R.
M5	0,6	40	N.R.	15	7.5	40	5	33	N.R.

Tabla 8. Requisitos mínimos de iluminación para vías con ciclorrutas y andenes adyacentes.
Adaptado de: [3]

Donde:

L_{prom}: es la luminancia promedio mantenida

U_0: es la uniformidad general

U_l: es la uniformidad longitudinal

TI: es la restricción del deslumbramiento

E_{prom}: es la luminancia promedio

N.R: es no requerido

2.4. LOCALIZACIÓN DE LAS LUMINARIAS, SEGÚN RETILAP

Según el RETILAP, al iniciar cualquier diseño de iluminación es necesario conocer los requerimientos y disposiciones que tiene el municipio para los diferentes operadores de servicios públicos, en cuanto a la localización de los postes para las luminarias y las redes de energía, la red de alumbrado público, respecto a donde deben colocarse en la malla vial local, también los municipios deben mencionar las restricciones para colocar los postes que sean exclusivos del alumbrado público en la malla vial principal, como en la complementaria [3].

La norma colombiana relaciona la distribución de las luminarias con el ancho de la vía (W), algunas características especiales que puedan poseer y también con la altura del montaje (H), la distancia entre postes (S) (estas distancias se podrán modificar en caso de que existan obstáculos insalvables como alcantarillas rampas de acceso, etc.), la cercanía con redes de AT y MT, si hay o no vías férreas

o algún tipo de vivienda urbana, entre otros aspectos que deben ser tenidos en cuenta cuando se va a realizar el diseño de iluminación, dentro de la consideración de estos aspectos técnicos importantes debe también tenerse presente el cumplimiento de las normas establecidas por el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas).

El RETILAP proporciona una tabla que funciona como guía con respecto a la configuración básica de algunos puntos de iluminación, con respecto a los requerimientos fotométricos del lugar, características de las vías y de las luminarias, y que a su vez está tomada de la NTC 900.

Clase de iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M1	12 – 14	3,5 – 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M2	10 – 12	3,5 – 4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M3	8,5 – 10	3,5 – 4	Ancho de la calzada menor	Unilateral
M4	7 – 9	3,5 – 4	Unilateral	
M5	6	3,5 – 4	A criterio del diseñador	

Tabla 9. Recomendaciones básicas para ubicación de luminarias.
Adaptado de: [3]

2.4.1. DISPOSICIÓN DE LOS POSTES

Debido a la existencia de proyectos de alumbrado público que cuentan con vías especiales para tráfico de vehículos, vías peatonales y ciclo-rutas, y con el objetivo de minimizar la cantidad de postes utilizados en el sistema, el RETILAP plantea el uso de postes multipropósitos los cuales: por un lado, iluminan la calzada principal y por el otro lado, a igual o menor altura, se instalan las luminarias para la vía peatonal o ciclo-ruta.

a. Disposición unilateral

En esta disposición todos los postes del sistema de iluminación se instalan en un solo lado de la vía en cuestión, teniendo en cuenta que la luminaria escogida debe cumplir con los requisitos fotométricos acordes para las alturas del montaje, distancia entre postes y la menor potencia eléctrica demandada por el sistema, todo lo anterior obtenido en el diseño previo del proyecto.

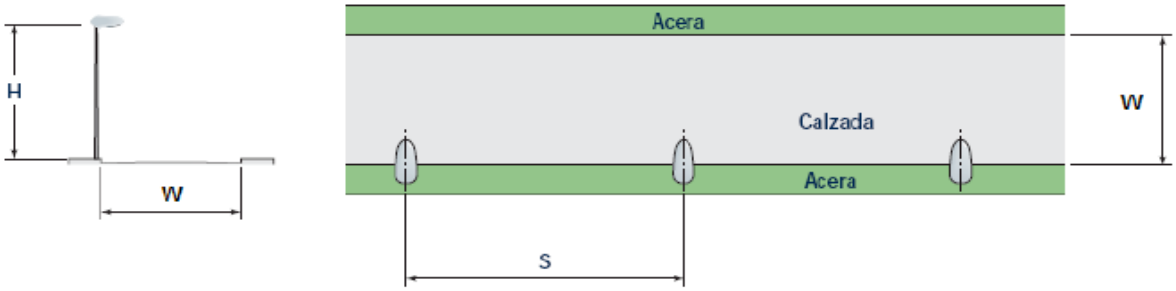


Ilustración 1: Disposición unilateral
Tomado de: [3]

b. Central doble

Para este caso donde las vías cuentan con dos calzadas circulando en dirección contraria una con respecto a la otra, y además de esto se encuentran divididas por un separador que no debe ser menor a 1.5 m de ancho. Se logra una eficiencia económica si los postes se instalan sobre el separador de manera unilateral, es decir con sus respectivas luminarias en dirección a la calzada correspondiente, a esta disposición se le conoce como central sencilla.

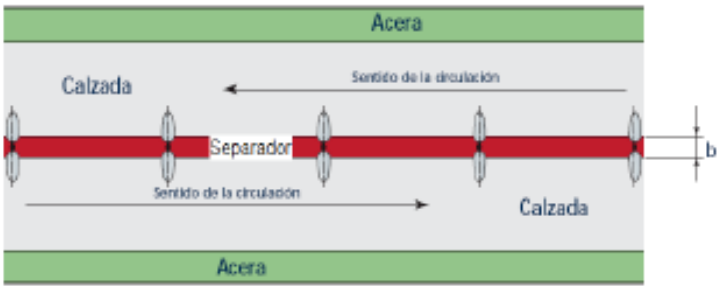


Ilustración 2: Disposición central doble
Tomado de: [3]

c. Bilateral alternada

Este caso se tiene cuando la vía posee un ancho (W) mayor a la altura de los postes (h), y cumpliendo la relación: 1.0 < (W/h) < 1.50, es recomendable utilizar luminarias tipo II especificadas en la IESNA (Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norte América) o de dispersión media según el modelo de la CIE. Cabe resaltar que lo anterior no obliga a que el proyecto utilice las mencionadas luminarias. Es conveniente usar esta disposición en zonas comerciales o de alta afluencia de personas en la noche, para iluminar las aceras y las fachadas de las edificaciones de la zona.

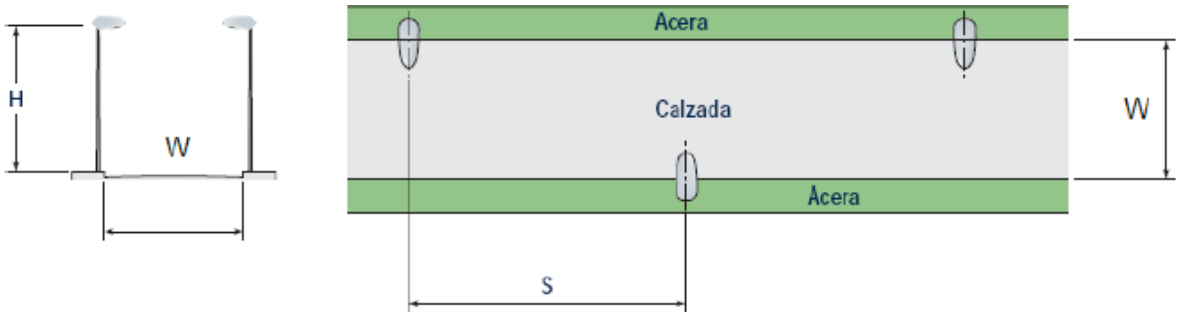


Ilustración 3: Disposición bilateral alterna
Tomado de: [3]

d. Bilateral opuesta sin separador

Al igual que en la disposición anterior, cuando se tiene un ancho de calzada mayor a la altura de las luminarias, los postes están instalados en ambos bordes de la vía, pero con la diferencia de que se tiene mayor cantidad de postes ya que no van alternados, sino que van continuos y enfrentados unos con otros en ambos lados de la zona.

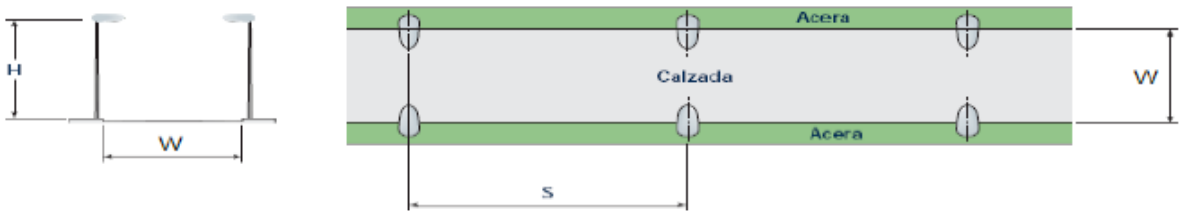


Ilustración 4: Disposición bilateral opuesta sin separador
Tomado de: [3]

e. Bilateral opuesta con separador

Para el caso de las vías con doble calzada, donde el ancho de la calzada (W) es mucho mayor a la altura del montaje (h), presentando una relación de 1,25<(W/h) < 1,75, es recomendable utilizar luminarias tipo III presentadas en la IESNA o de dispersión ancha según el modelo de la CIE en disposición bilateral opuesta. Se puede recalcar que se puede utilizar cualquier otro tipo de luminaria siempre y cuando cumpla con las exigencias del diseño proyectado y siga siendo el más económico.

En este caso, la iluminación consta de dos filas de luminarias: una a cada lado de la vía y cada luminaria se encuentra enfrentada con su correspondiente del lado contrario. Por otra parte, el solo uso de la disposición no garantiza el resultado. El diseño completo contempla una solución integral a la iluminación de la vía propuesta incluidos los alrededores inmediatos. Esta disposición sobre vías principales, es comúnmente usada si se requiere solamente para iluminación doble propósito: la vehicular y la peatonal [3].

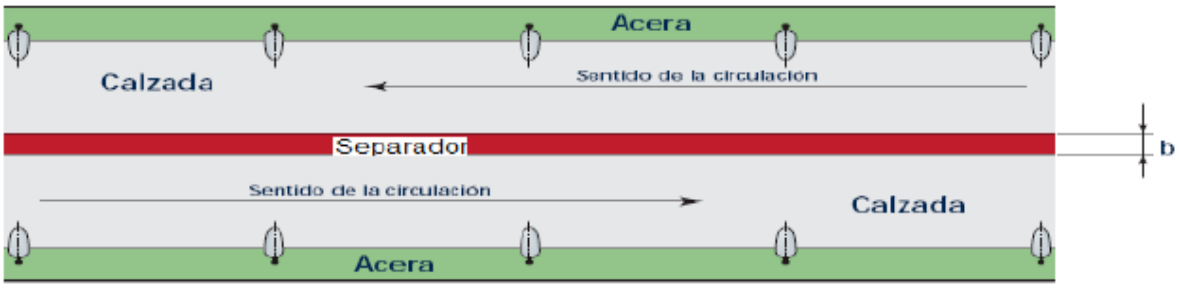


Ilustración 5: Disposición bilateral opuesta con separador
Tomado de: [3]

2.4.2. CASOS ESPECIALES

Los casos especiales, para el RETILAP, son sitios críticos como curvas, cruces a nivel, etc. En cuanto al diseño, deben ser tenidas en cuenta las condiciones exigidas para cada sitio en específico como tránsito automotor, la importancia de las vías, si existen o no monumentos, obstáculos que existan en estos sitios, señales de tránsito, etc.

En cuanto a las soluciones que el RETILAP brinda, hace la salvedad de que no es necesariamente una solución definitiva para cada caso en el que se presente una situación como las descritas anteriormente, lo cual implica que el diseñador puede o no seguir al pie de la letra las recomendaciones que hace la norma sobre los casos especiales.

a. Disposición en curvas

Un conductor realiza mayor trabajo visual en las curvas, por este motivo el RETILAP recomienda que, en las curvas leves, es decir, de entre 0 y 30°, se debe reducir la interdistancia en 0,90***S*** en el trayecto de entrada o salida de la curva y a 0,75***S*** en el trayecto mismo de la curva [3].

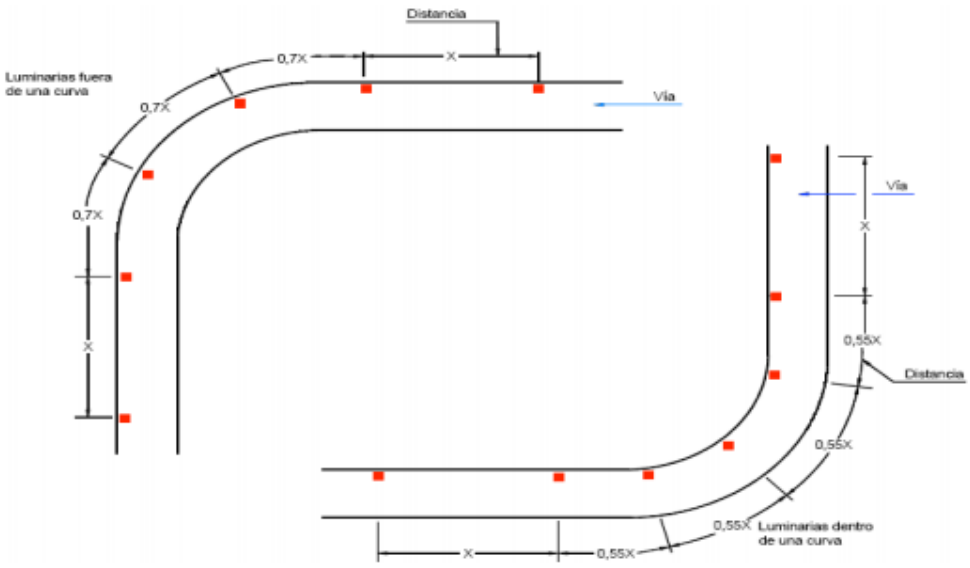


Ilustración 6. Disposición de las luminarias en puntos donde existen curvas.
Tomado de: [3]

Existen algunas precisiones que hace el RETILAP, acerca de lo que es más recomendable en cuanto a la iluminación en las curvas:

- Se considera un tramo completamente curvo, cuando el radio de la curvatura del trazado de la carretera sobre su eje es mayor a 300m.
- Cuando hay curvas más pronunciadas, de entre 30° y 90° y con un radio inferior a 300m, la interdistancia entre postes se reduce hasta 0,70***S***, esto sucede cuando las luminarias están instaladas en la parte exterior de la curva.
- Si, por el contrario, las luminarias están ubicadas en la parte interior de la curva, la reducción seria de hasta 0,55***S.***
- La disposición de las luminarias sebe ser preferiblemente en la parte exterior de la curva, esto se recomienda con el fin de mantener una guía visual más estable.
- Se deben usar distribuciones de luminarias de tipo unilateral o bilateral opuesta.
- Se debe evitar el uso de la distribución bilateral alternada porque puede causar algún tipo de confusión respecto a la forma que tiene el camino.
- También hay que evitar cambiar el sentido de la distribución unilateral al entrar a una curva y dejar luminarias en la prolongación de la vía, ya que esto retarda la percepción visual de la curva por parte del conductor e incrementa la posibilidad de que haya accidentes.

b. Disposición de luminarias en calzadas con pendiente

De la misma manera que en las curvas, el trabajo visual del conductor aumenta cuando existe una pendiente en la carretera y va aumentando conforme aumenta la pendiente. Una carretera con pendiente es considerada así cuando tiene una inclinación de más de 3°, caso contrario se considera aun como un terreno plano.

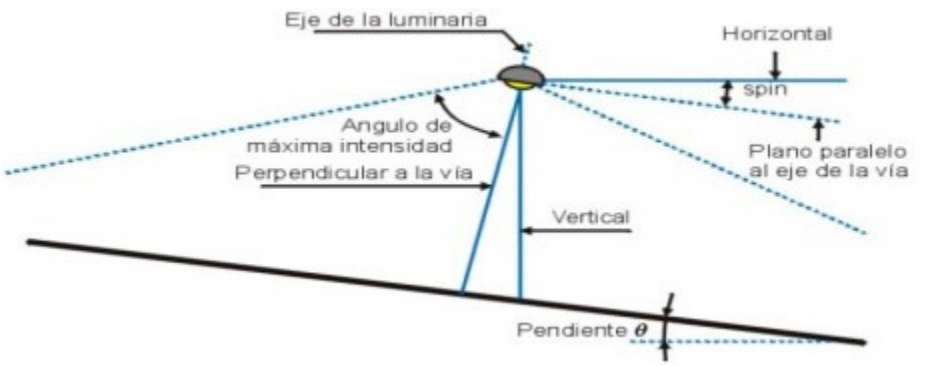


Ilustración 7. Disposición de luminarias en una vía con pendiente.
Tomado de: [3]

Al igual que en las curvas, existen recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta a la hora de realizar el diseño de iluminación para una vía o trayecto de la misma que tenga una inclinación, algunas de estas son:

- Cuando las luminarias están localizadas en carreteras o calzadas con pendiente, el RETILAP recomienda orientarlas de tal manera que el rayo de luz en el nadir[1] sea perpendicular a la vía.
- El ángulo de giro que forma el brazo y la luminaria es llamado ***Spin*** y este debe ser igual al ángulo de inclinación de la vía, es decir a ***Θ***, de esta manera se asegura una uniformidad máxima en la distribución de la luz y también reduce el deslumbramiento.
- El diseñador debe reducir la interdistancia a 0,90***S*** en los primeros 100m o 200m (depende la velocidad de circulación de la vía), en la cima, pasados unos 100 o 200m antes y después, la interdistancia se reduce hasta llegar a 0,70***S***, según la velocidad de la vía.
- En estas vías con pendiente, los postes deberán permanecer verticales, independientemente de la inclinación de la vía.
- Si un trayecto de la calzada tiene inclinación y además es curvo, las luminarias deberán ubicarse tras una barrera de protección para evitar posibles accidentes de tránsito.

2.5. BRAZOS DE ALUMBRADO PÚBLICO

Los brazos de alumbrado público dependen del diseñador y del proyecto, de la necesidad de avance sobre la vía, estos pueden ser de uno o dos dobleces y también de diferentes longitudes,

[1] Nadir: Es un concepto que se utiliza en astronomía y que permite nombrar el punto en que se interceptan la vertical de un espacio con la esfera celeste. Se trata del punto más elevado en el cielo por sobre quien observa a 90° de su cabeza. En el contexto de los sensores remotos, el término Nadir se refiere a la disposición de los instrumentos de observación orientados de manera perpendicular a la superficie terrestre.

dependiendo de la altura y del alcance que se requiera. Los brazos de un solo doblez son por lo general de 1,50m de longitud en el que la base del brazo tiene una longitud aproximada de 40cm (el valor puede variar dependiendo del fabricante), en estos brazos únicamente se forma un ángulo entre el poste y el brazo, este ángulo puede variar entre 0° y 20° y el grosor puede oscilar entre 1" y 1"1/2 [1].

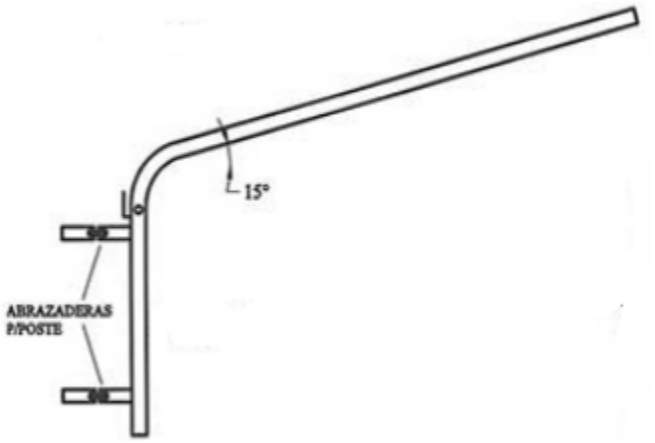


Ilustración 8. Brazo de un solo doblez a 15°.
Tomado de [1]

Para aquellos brazos que son de dos dobleces la longitud oscila entre 1,50m y 4,0m, el grosor entre 1"1/2 y 3", se conservan los 40cm de sujeción al poste, pero se forman dos ángulos el primero y más próximo al poste puede formar un ángulo de entre 0° y 90° y el segundo entre 0° y 20° (Arias, 2015).

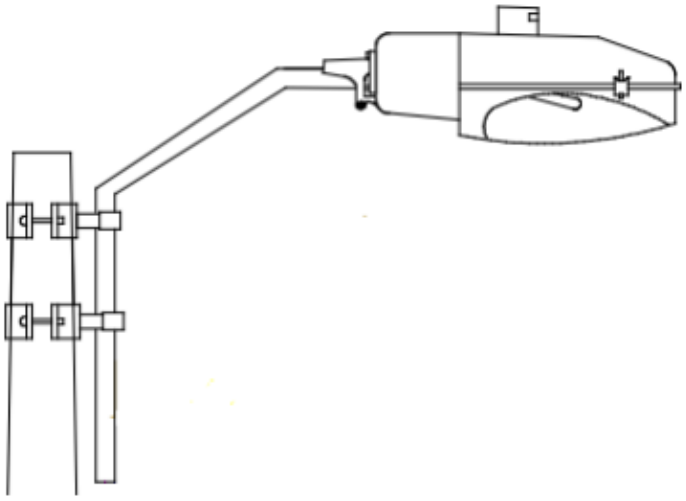


Ilustración 9. Brazo de dos dobleces a 0°
Tomado de [1]

2.6. FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE

Antes que nada, es necesario realizar una precisión en lo que respecta a las definiciones: a) FNCE: La UPME las define como las Fuentes No Convencionales de Energía y son los recursos que son mundialmente conocidos pero que en el país no son muy utilizadas o se hace en una escala muy pequeña algunos ejemplos son la energía atómica y las FNCER, b) FNCER: Son aquellas que están disponibles a nivel mundial y que son recursos de energía renovable y de la misma manera son poco empleadas en el país, algunos ejemplos son la biomasa, pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, energía eólica, geotérmica, solar y mareomotriz [4].

2.6.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar es la obtenida mediante la captación de luz y calor provenientes del sol. La radiación solar que alcanza la Tierra se puede aprovechar mediante el calor que esta produce, de la misma manera que absorbiendo dicha radiación con dispositivos ópticos o de otro tipo, este tipo de energía es de las llamadas energías renovables o energías limpias [5].

2.6.2. RADIACIÓN SOLAR

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, [6]. La radiación emitida por el sol atraviesa el espacio vacío en todas las direcciones. No sufre pérdidas apreciables por interacción con medios materiales. Sin embargo, la irradiancia solar, definida como la densidad de flujo radiante solar que no es más que la potencia de radiación solar por unidad de área incidente en una superficie; es atenuada de acuerdo con el cuadrado de la distancia. Parte de la irradiancia solar es interceptada por la tierra. Debido a la relación que existe entre la distancia con el sol y el tamaño de la tierra, se puede asumir que su valor es constante en toda la superficie exterior de la atmosfera de la tierra. Se define la constante solar, B_0, como el valor de irradiancia solar incidente en un plano normal al vector que conforman el sol y la tierra en el límite superior de la atmosfera terrestre. [7]

Han sucedido diferentes campañas científicas con el paso del tiempo y han obtenido diferentes valores para la constante solar, pero se acepta como representativo el valor promedio.

$$B_0 = 1367\, W/m^2 \quad (1)$$

Propuesto por la Organización Meteorológica Mundial. [7].

Existen diferentes tipos de radiación que tienen mayor o menor relevancia en cuanto al estudio de los sistemas fotovoltaicos, algunos son los siguientes:

- **Radiación directa:** Es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección [6]. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

- **Radiación difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o es absorbida por estas. Esta radiación, denominada difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, edificios, el suelo mismo, entre otros. Este tipo de radiación no produce sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales reciben más radiación difusa ya que pueden ver toda la bóveda celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos radiación porque sólo ven la mitad de la bóveda celeste [6].
- **Radiación reflejada:** Esta radiación es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, llamada albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada ya que no ven ninguna superficie terrestre, por su parte las superficies verticales son las que más reciben [6].
- **Radiación global:** Es la radiación total, es decir, es la suma de los tres tipos de radiación anteriores. En un día despejado, la radiación directa es preponderante sobre la difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación incidente es difusa [6].

La Ilustración 10 muestra los diferentes tipos de radiación existentes.

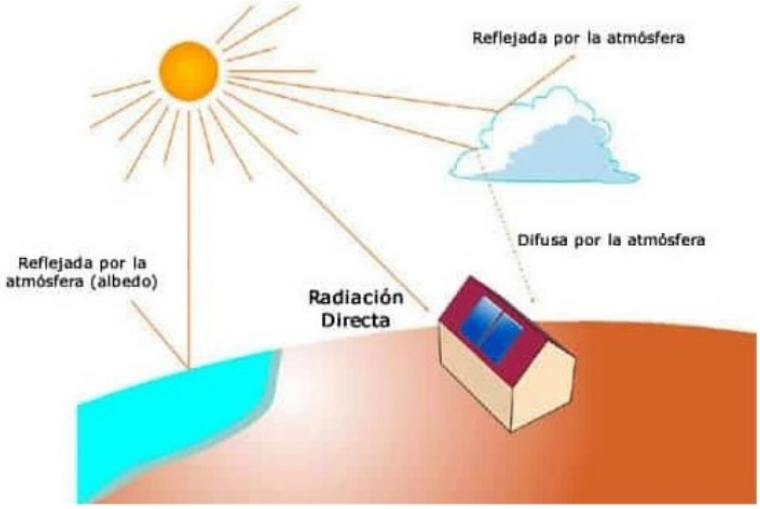


Ilustración 10: Tipos de radiación en energía solar
Tomado de: [8]

2.6.3. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Un Sistema Solar Fotovoltaico es un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que pueden generar energía eléctrica a partir de la radiación solar. Su principal componente es un módulo fotovoltaico, este está compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. Los otros dispositivos que forman parte del sistema dependen en gran medida de la aplicación que se le vaya a dar al sistema.

También puede definirse como un conjunto total de componentes y subsistemas que, combinados, convierten la energía solar en energía eléctrica adecuada para la conexión de una carga de utilización [9]. En materia técnica, en Colombia la norma que lleva a cabo la definición de aspectos técnicos referentes a sistemas solares fotovoltaicos, independientemente de su uso, es la NTC2050. En la Sección 690 abarca los aspectos técnicos más relevantes referentes a este tipo de sistemas y de la misma manera, plantea requerimientos que deben ser cumplidos para el caso de instalaciones eléctricas fotovoltaicas residenciales, comerciales o de uso público.

A grandes rasgos, es posible clasificar en tres grandes grupos a los sistemas solares fotovoltaicos: conectados a la red de distribución o de transmisión, según sea el caso (grid connected), autónomos (off--grid) y de bombeo [7].

2.6.4. DE CONEXIÓN A RED

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional. Este tipo de sistema se compone de un generador o panel fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas. La energía eléctrica producida por este sistema será consumida total o parcialmente por las cargas directamente conectadas al mismo, y la energía sobrante será inyectada a la red para su distribución a otros puntos de consumo.

En el mecanismo de retribución con ventajas económicas, el propietario del sistema recibe ingresos por la totalidad de energía eléctrica generada (independientemente de la que sea consumida y de la que se inyecte a la red). Al utilizar este tipo de sistema, el objetivo principal del diseñador es que su generación anual sea la máxima posible sin tomar en consideración los consumos cercanos [7].

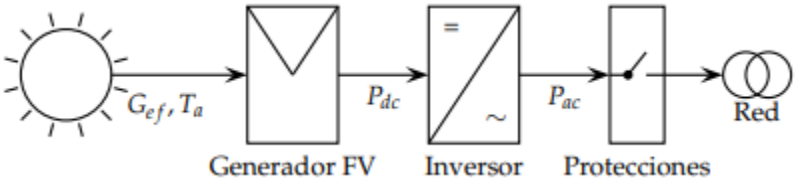


Ilustración 11: Esquema General SFCR
Tomado de: [7]

2.6.5. AUTÓNOMOS

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) genera energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas que no se encuentran conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para suplir la demanda durante los períodos en los que la generación es inferior al consumo. Dentro de las configuraciones más comunes de los sistemas fotovoltaicos autónomos, se encuentran las siguientes 4: SHS, AC, AC/DC e híbrido. Los sistemas autónomos abarcan una variedad muy amplia de aplicaciones, su denominador común es el de satisfacer una demanda energética determinada, por esta razón, prácticamente todos los sistemas autónomos incorporan un equipo de acumulación de energía. Pueden encontrarse tres subgrupos de SFA [7].

Profesionales: Las aplicaciones profesionales son variadas y pueden abarcar radioenlaces, protección de gasoductos, señales de tráfico, hoteles, refrigeración médica, tráfico y navegación aérea, incluso alimentación de equipos de uso espacial como satélites. Como es evidente, la característica principal de las aplicaciones mencionadas previamente es la alta fiabilidad ya que un corte en el suministro de energía de alguna de las aplicaciones anteriormente dichas, podría conllevar un alto coste económico.

Pequeño consumo: Generalmente se emplean módulos fotovoltaicos de silicio amorfo que alimentan equipos electrónicos básicos como relojes, calculadoras, cargadores de teléfonos o pequeñas herramientas domésticas.

Sistemas de electrificación rural: Suministran energía a poblaciones rurales que están alejadas de las redes eléctricas de distribución, generalmente son sistemas que se desarrollan teniendo como fuente ONG's u organismos de cooperación internacional como el Banco Mundial o programas locales de electrificación rural. Dentro de estos sistemas predominan los de uso doméstico que son utilizados para alimentar equipos de iluminación, radio, televisión o pequeñas herramientas.

2.6.6. DE BOMBEO

Un sistema fotovoltaico de bombeo (SFB) emplea un generador fotovoltaico para alimentar una motobomba y extraer agua de un pozo y transportarla o almacenarla. La aplicación de esta tecnología es bastante interesante desde el punto de vista rural, dado que un alto porcentaje de población del país vive en lugares alejados de centros urbanos, por lo cual las diferentes compañías de acueducto no logran llevar su infraestructura a estos lugares y esta aplicación ofrece una solución factible para que los pobladores de pequeñas comunidades puedan bombear agua a la superficie sin mayores reparos ni mayores inversiones.

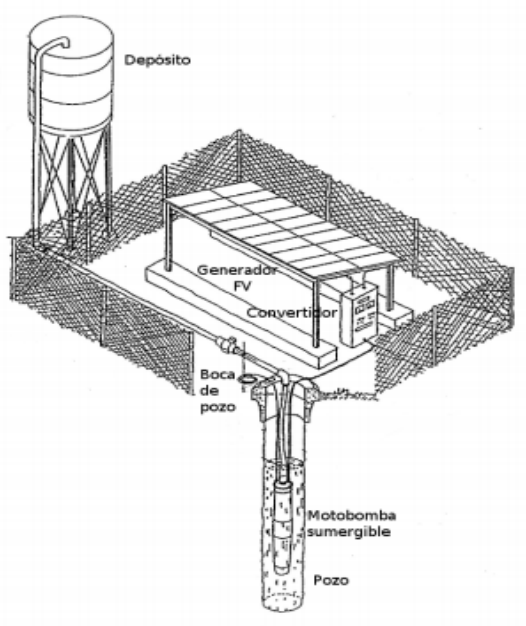


Ilustración 12. Componentes de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua.
Tomado de: [7]

La Ilustración 13, adaptada de [7], muestra de forma resumida las aplicaciones y los tipos de sistemas fotovoltaicos que existen actualmente.

2.6.7. FOTOVOLTAICO

Desde la aplicación de los sistemas fotovoltaicos para la obtención de la electricidad, es necesaria la asociación de células fotovoltaicas hasta obtener la potencia deseada que siempre depende del tipo de instalación y adaptación. Estas asociaciones se materializan primero que todo en el módulo fotovoltaico que es el dispositivo comercial que consiste en la asociación de las células fotovoltaicas asociadas en serie o paralelo, según sea beneficioso. El módulo está encapsulado de forma que quede protegido de las condiciones atmosféricas adversas, los módulos más utilizados están constituidos por 33 o 36 células de silicio monocristalino o policristalino [10].

2.6.8. TIPOS DE MÓDULOS Y SUS CÉLULAS

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de materiales empleados, los métodos de fabricación que se emplean y su disposición final.

Silicio puro monocristalino: Estos módulos están basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza, en el laboratorio se han alcanzado rendimiento de 24% y para los que se comercializan, un 16%.



Ilustración 13. Módulo compuesto por células de silicio monocristalino.
Tomado de: [11]

Silicio puro policristalino: Los materiales son semejantes a los anteriores, sin embargo, el proceso de la cristalización del silicio es diferente. Se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Con ellos se obtiene un rendimiento inferior que, con los monocristalinos, en el laboratorio del 19% y los comercializados del 14%, debido a la tecnología de fabricación los paneles presentan un grosor considerable, sin embargo, es posible conseguir algunos más finos y versátiles.



Ilustración 14. Usos, aplicaciones y tipos de Placas Solares.
Tomado de: [12]

2.6.9. BATERÍAS PARA LOS MÓDULOS FV

Las baterías son un dispositivo que permite almacenar la energía que se genera en las placas solares durante las horas en las que incide la radiación solar. En las baterías se almacena el excedente de energía para utilizarlo en las noches, días nublados o lluviosos o incluso cuando la demanda es mayor a la que producen los paneles. Existen también varios tipos de baterías que se pueden diferenciar teniendo en cuenta la tecnología de su fabricación [13].

Baterías de plomo acido abierto: Contienen seis compartimentos separados pero que están conectados en serie que están sumergidos en ácido sulfúrico, las placas con las que está compuesta la batería contienen los electrodos positiva y negativa que se alternan dentro de la batería, son más utilizadas en instalaciones aisladas gracias al gran rendimiento que tienen y a su bajo costo.
Batería AGM: Absorption Glass Mat, es una tecnología que permite a las placas de plomo de la batería absorber más rápido y mejor el ácido. Una de sus principales características es que no requieren mantenimiento gracias a su diseño sellado por lo que su transporte es más sencillo, otra importante característica es que soporta un gran número de ciclos de manera que su uso es recomendable en instalaciones muy exigentes.
Baterías GEL: Este tipo de baterías contienen el electrolito gelificado, son selladas, no desprenden gases nocivos por lo que podría instalarse en un lugar con poca ventilación. Tiene ciclos de descarga profundas con hasta 800 ciclos de vida, es por esto que tienen una gran durabilidad.
Baterías estacionarias: Se caracterizan porque se mantienen cargadas constantemente. Contienen un regulador que alimenta el consumo que recarga la batería cuando se produce una descarga, de este modo la batería se descarga con muy poca frecuencia.
Batería de litio: Las baterías de litio se cargan más rápido que otros tipos, ofrecen más densidad energética y cuentan con mayor vida útil. No tienen efecto memoria por lo que podrían llegar a descargarse en un 100% o a la mitad sin que la batería sufra en sus características, difieren de los demás tipos, pero obtienen mayor autonomía, son menos pesadas por lo que su transporte es más sencillo.

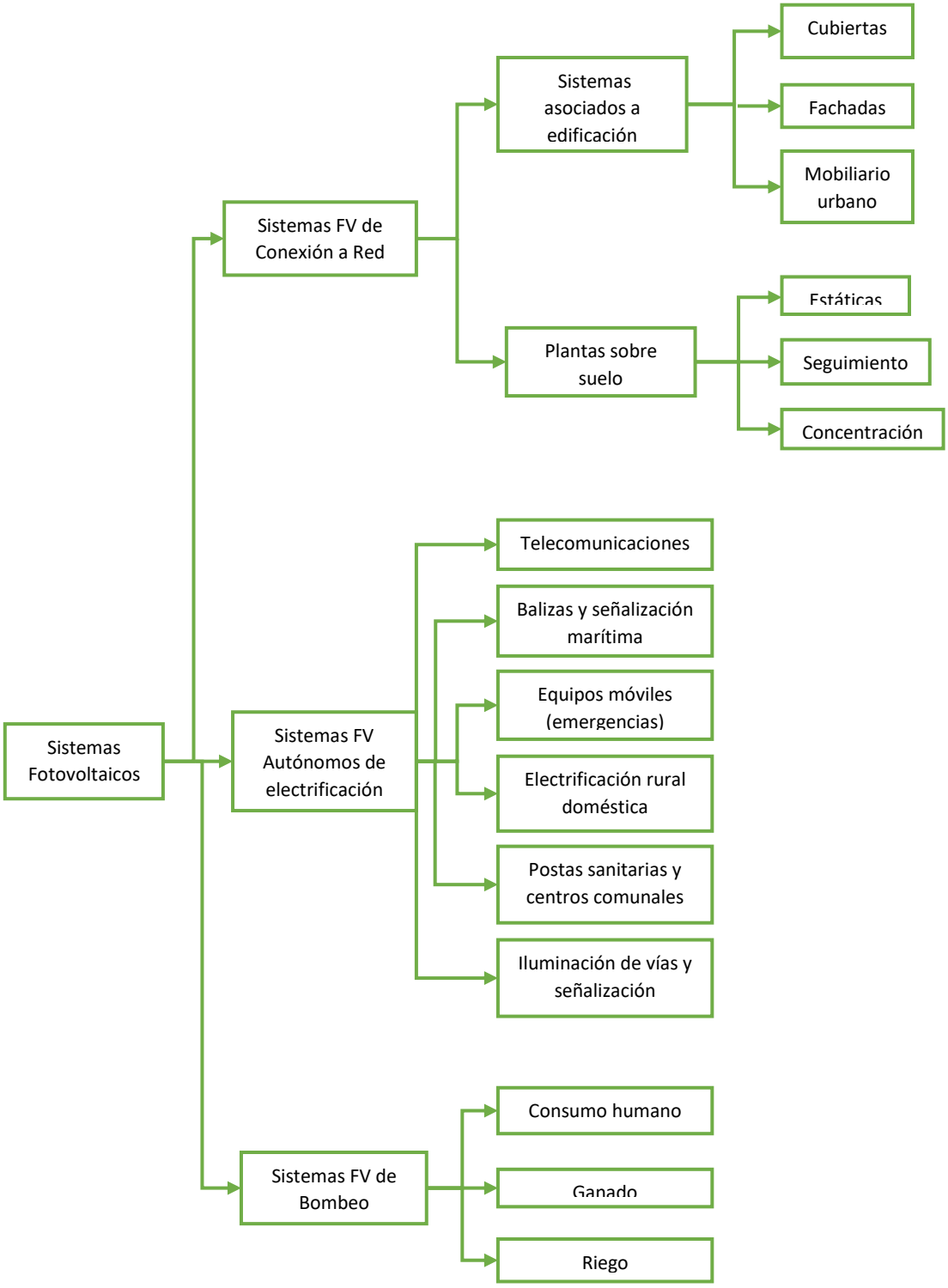


Ilustración 15. Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas y tipos de SV.
Adaptado de [7]

2.6.10. MARCO NORMATIVO REFERENTE A ENERGÍAS NO CONVENCIONALES RENOVABLES EN EL PAÍS

El gobierno nacional ha procurado impulsar la investigación, el desarrollo y la implementación de proyectos que recurran a energías limpias para generación de energía eléctrica, desde los años 90 con la expedición de la ley 29 de 1990 y el decreto 393 de 1991 a través de Colciencias y también actualmente mediante la expedición de diferentes leyes como la 1715 de 2014, diferentes decretos y resoluciones expedidos por la UPME y el MinMinas, que tienen como objetivo principal fomentar y estimular el desarrollo de proyectos que tengan como base principal la generación de energía eléctrica con fuentes no convencionales de energía, por lo cual otorga ciertos incentivos económicos y fiscales, con el fin de acelerar y atraer a la industria para invertir en este tipo de proyectos.

2.6.11. LEY 1715 DE 2014

La Ley 1715 tiene como objetivo promover el desarrollo y utilización de las Fuentes No Convencionales de Energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el Sistema Eléctrico Nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, participación en Zonas No Interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible [14].

La Ley 1715 establece los incentivos económicos mediante los artículos 11, 12, 13 y 14, el Decreto 2143 desarrollado por MinMinas, Hacienda y Crédito Público, Comercio, Industria y Turismo y de Ambiente y Desarrollo Sostenible desarrolla los incentivos previstos en la anterior ley, las Resoluciones 520 y 638 de 2007, 143 de 2016 – Registro de Proyectos, Resolución 045 de 2016, expedidas por la UPME y las resoluciones 1238 de 2016 y 186 de 2012, expedidas por el MinAmbiente, reglamentan el procedimiento para acceder a los diferentes incentivos planteados en la Ley [14].

2.7. PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL

La matriz de generación eléctrica en Colombia es una de las más limpias del mundo, el 68% de la capacidad instalada se genera a través de fuentes renovables de energía. Las principales fuentes de generación de energía eléctrica en el país son las siguientes:

Hidráulica: Es producida gracias al aprovechamiento de la energía cinética del agua acumulada en un embalse, para mover unas turbinas y así generar energía eléctrica. Esta es un tipo de energía renovable.
Biomasa: Es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica proveniente de plantas o animales, que mediante un proceso termoquímico y termoeléctrico es convertida en energía eléctrica. Existen diferentes tipos de biomasa el bagazo, biogás, biodiesel, entre otros.
Solar: Es obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. Es un tipo de energía renovable que genera energía eléctrica por medio de un proceso fotovoltaico o termoeléctrico. Existen diferentes tipos de energía solar como la fotovoltaica o la termosolar o solar térmica.

Combustible fósil: Este es un tipo de energía no renovable, obtenida por fuentes fósiles como los líquidos (fuel oíl, ACPM, JET A1) que son derivados del petróleo, gas, carbón y mezcla (gas -jet A1). Estos combustibles al pasar por un proceso termoquímico y termoeléctrico son convertidos en energía eléctrica. En Colombia es comúnmente denominada como energía térmica.
Eólica: Es obtenida a partir del aprovechamiento de las corrientes de aire que permiten el movimiento de las palas de un aerogenerador para la generación de energía eléctrica, este es un tipo de energía renovable.

En Colombia, la generación de energía eléctrica se clasifica según su principal actividad productiva como:

Cogeneración: Proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte del proceso productivo cuya actividad principal no es la producción de energía eléctrica, destinadas ambas al consumo propio o de terceros y cuya utilización se efectúa en procesos industriales o comerciales.
Autogeneración: Proceso de producción de energía eléctrica cuya actividad principal es atender el consumo propio y que puede entregar sus excedentes de energía al SIN.
Generación: Proceso de producción de energía eléctrica cuya actividad principal es la generación de energía eléctrica. En esta clasificación se encuentran las plantas menores que por definición, tienen una capacidad instalada inferior a 20MW y se excluyen de esta, los autogeneradores y los cogeneradores.

Los datos de la matriz energética de la Ilustración 14 y 15, provienen de Acolgen (Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica) que es una organización gremial privada, sin ánimo de lucro y sin cuestiones de orden político, que se creó con el objetivo de promover la libre competencia y el desarrollo eficiente y sostenible del mercado eléctrico colombiano, en particular de la actividad de generación eléctrica [15].

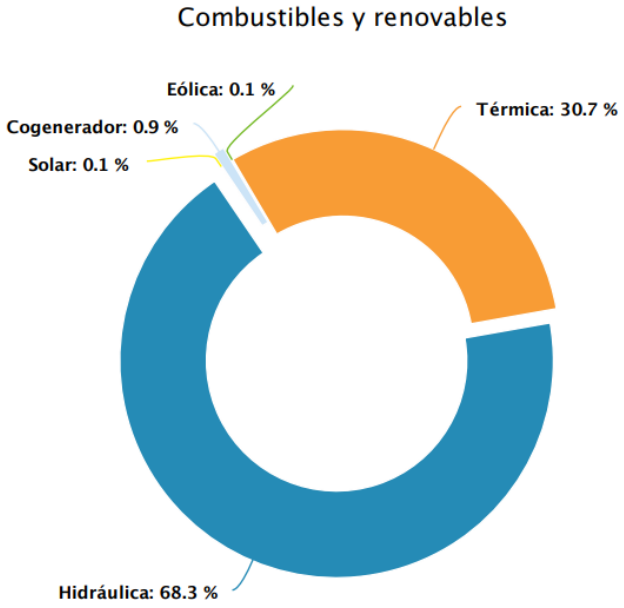


Ilustración 16. Matriz energética de centrales en Colombia.
Tomado de: [15]

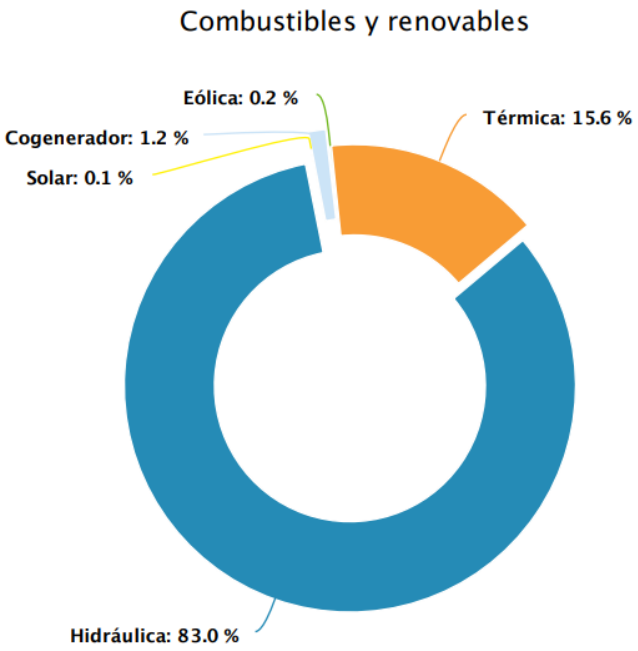


Ilustración 17. Matriz energética de centrales asociadas a Acolgen.
Tomado de: [15]

Es importante resaltar que aún no se ha utilizado en gran escala el potencial solar o eólico del país, sin embargo, como se evidenció previamente, mediante las diferentes regulaciones, el gobierno nacional está intentando dar un estímulo a las empresas y a los particulares para que existan más proyectos de generación a pequeña y gran escala que tengan como base las fuentes no convencionales de energía.

2.8. ESTRUCTURA DEL MERCADO ELÉCTRICO EN EL PAÍS

Con el fin de que el sector eléctrico funcione y también se desarrolle de la mejor manera posible, se estableció un esquema que involucra a las diferentes entidades que generan la energía, las que la transportan, las que la venden, las que coordinan a las anteriores, las que establecen políticas generales, las que establecen las normas para entregar energía de buena calidad y a un precio razonable y las que finalmente, vigilan que todas cumplan las normas que les competen a cada una [16].





Ilustración 18. Estructura del sector eléctrico en Colombia.
Adaptado de: [16]

2.9. ENERGÍA SOLAR EN COLOMBIA

Las Estadísticas de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) muestran que, de las iniciativas radicadas, el 88.3% tienen que ver con energía solar, donde 9 de cada 10 propuestas para generar energía, usan paneles solares, esto representa un crecimiento del 32% de julio a noviembre de 2017. La UPME y el Ministerio de Minas y Energía estiman que para el 2030 cerca del 10% del consumo energético en Colombia provendrá de proyectos fotovoltaicos o solares [17].

Algunos beneficios de la energía solar en Colombia son los siguientes:

- La posición geográfica de Colombia a la línea ecuatorial, beneficia la captación de energía solar.
- En Colombia no se necesita ningún permiso para instalar paneles solares.
- Permite cumplir con la resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda que obliga a los constructores a cumplir los parámetros de construcción sostenible para el ahorro de energía y agua.
- Genera beneficios económicos a largo plazo.
- Beneficios tributarios e incentivos por parte del estado por el uso de energía solar, establecidos en la Ley 1715 del 2014.
- Ciudades como Santa Marta, Barranquilla y Cartagena que tienen altas temperaturas, producen en ocasiones sobrecargas en las redes eléctricas. Este sistema permite ofrecer un servicio excelente de electricidad.
- Llevar electricidad a las zonas remotas y de difícil acceso donde no existe red eléctrica.
- Llevar servicios de salud y educación donde antes no era posible.
- Generar nuevas oportunidades de empleo a partir de energías limpias.
- Un sistema de paneles aporta al mejoramiento del servicio energético y a la reducción de la huella de carbono en el país.
- Una alternativa para la electrificación de fincas de recreo y productoras y casas de campo. Urbanizaciones de casas campestres en Jamundí, Valle del Cauca, es un ejemplo del uso de energía solar en fincas o parcelaciones.

La Ilustración 19 muestra el panorama de la radiación solar en el país, según datos del IDEAM. Este porcentaje, según la ubicación, puede ser aprovechado para la generación de energía a pequeña o gran escala. Como se puede apreciar, el mayor porcentaje de radiación está en la parte norte del país, seguida de la parte oriental, la de menor radiación es la parte amazónica, es decir, el sur del país, sin embargo, este potencial aún puede ser aprovechado a pequeña escala.

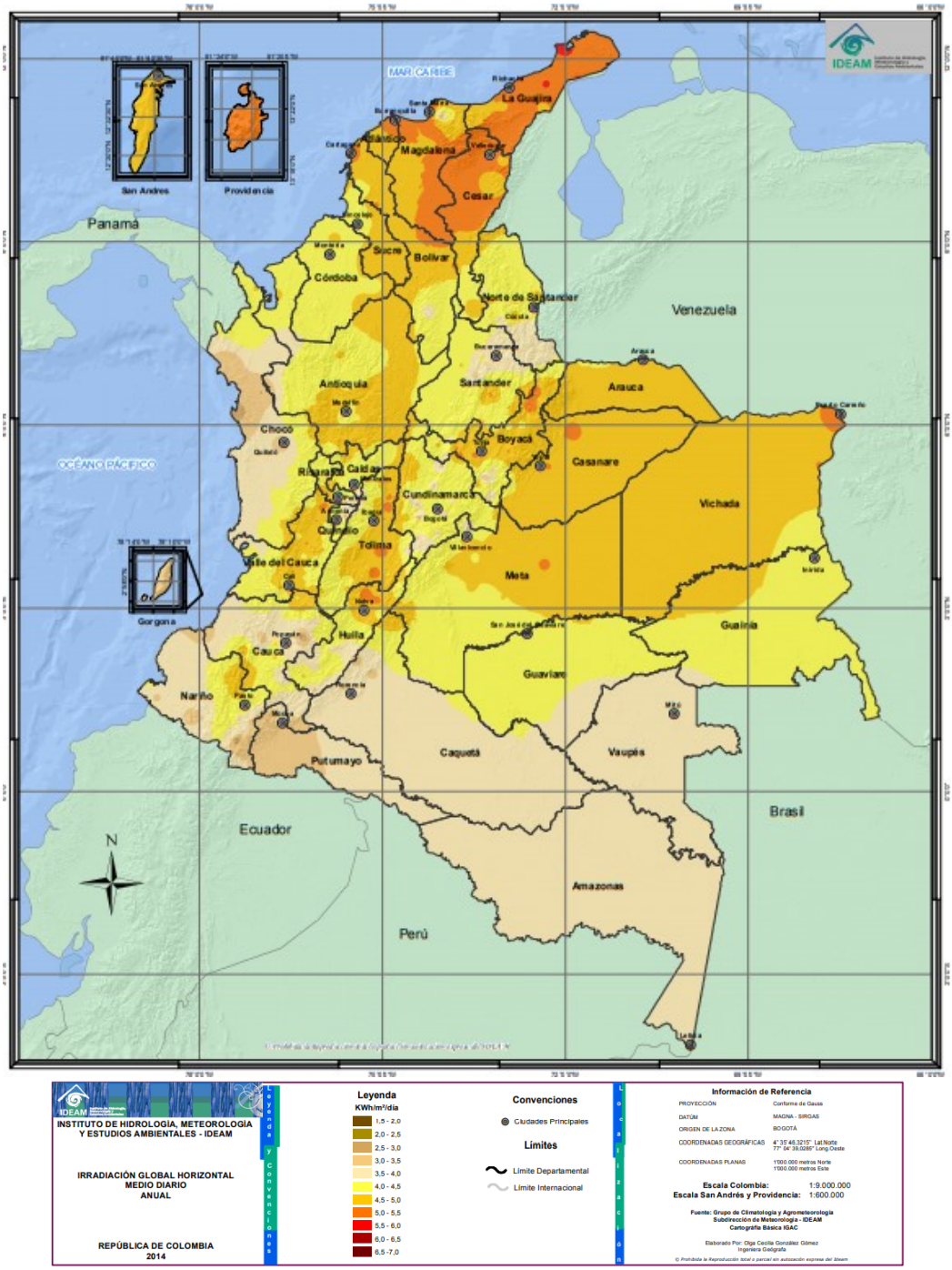


Ilustración 19. Atlas radiación solar en Colombia.
Tomado de: [18].

3. DESARROLLO DE ESTUDIO FOTOMÉTRICO

Durante toda esta sección se desarrollará el estudio fotométrico con el cual se dictarán las pautas mediante las cuales se podrán seleccionar los diferentes elementos constitutivos del sistema de alumbrado público. Este desarrollo será realizado haciendo uso de softwares como Google Earth para el reconocimiento geográfico y Dialux EVO para la simulación de las luminarias; para este último son necesarios algunos datos generales de la vía, por ello fue muy importante la adquisición de todos estos datos antes de realizar la simulación.

3.1. GENERALIDADES

La vía objeto de estudio tiene una longitud aproximada de 4.4Km y cuenta con ciclorruta en el perímetro del carril que tiene sentido sur – norte, es de dos carriles sin separador, la velocidad máxima permitida es de 30Km/h. Inicialmente se realiza un desplazamiento por la vía haciendo uso de la herramienta Google Street View, con lo cual es posible hacerse una idea bastante fiable en lo que respecta al entorno de la vía y los posibles obstáculos que puedan existir en el momento de realizar una posible instalación.



Ilustración 20. Ubicación de la vía objeto de estudio.
Tomada de [19]

Para realizar el estudio fotométrico también se tendrán en cuenta otros parámetros técnicos, el ancho de la vía es de 7m aproximadamente y el de la ciclorruta es de 2m, también la velocidad límite de la vía, como se mencionó previamente, es de 30Km/h, estos parámetros son importantes ya que a partir de los criterios que brinda el RETILAP y el Operador de Red, es posible establecer los requerimientos necesarios para cumplir con lo que se necesita en materia de iluminación.



Ilustración 21. Distancia medida usando Google Earth, entre los extremos de la vía objeto de estudio.

Tomada de: [20]

En la Tabla 10 se disponen las generalidades físicas de la vía a intervenir con el fin de resumir los datos

Ancho de la vía	7m
Ancho de la ciclorruta	2m
Velocidad máxima permitida de circulación en la vía	30Km/h
Longitud del tramo a intervenir	≈ 4400m

Tabla 10. Generalidades de la vía objeto de estudio.

Elaboración propia

3.2. ESTUDIO FOTOMÉTRICO

Así, según la Tabla 1, el tipo de vía que se seleccionará será el **M4** dado que el límite de velocidad es ≤30km/h y que el tránsito vehicular es reducido (entre 100 y 250 vehículos por hora), además de ser una vía colectora, ya que comunica al municipio con una autopista que conecta con otros municipios aledaños. En la vía no hay puntos críticos como los menciona el RETILAP, pero si existen casos especiales que son un par de curvas presentes a lo largo de la vía. La Tabla 2 también reafirma la aseveración de que la vía es de tipo **M4** con un "escaso" tráfico vehicular.

Clase de Iluminación	Descripción de Vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
M4	Vías primerias o conectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250

Ilustración 22. Selección tipo de vía según la Tabla 1.

Descripción de la vía	Tipo de iluminación
Conectores de vías de poca importancia, vías distribuidoras locales, vías de acceso a zonas residenciales, vías de acceso a propiedades individuales y a otras conectoras más importantes. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía	
Escaso	M4

Ilustración 23. Selección de tipo de vía según Tabla 2.

La Tabla 3 de este documento relaciona las vías vehiculares con las peatonales, asignando un tipo de iluminación, de manera que, siguiendo lo establecido en dicha tabla, para este caso corresponde un tipo de iluminación **P4**, ya que es una vía con poca afluencia peatonal y de ciclistas, pero no es únicamente para entrada a caminos adyacentes a la vía.

Descripción de calzada	Clase de Iluminación
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes	P4

Ilustración 24. Selección de tipo de vía peatonal según la Tabla 3.

De esta manera, de acuerdo con la Tabla 4, los requerimientos son:

$$L_{prom} = 0.8\frac{cd}{m^2}$$
$$U_0 = 0.4$$
$$TI = 15\%$$
$$U_l = N.R$$
$$SR = N.R \quad (2)$$

Teniendo:
L_{prom} = luminancia promedio mínimo mantenido
U_0 = Factor de Uniformidad
$TI\%$ = Incremento de Umbral máximo Inicial
U_l = Factor de uniformidad longitudinal de luminancia
SR = Relación de alrededores mínimo

Clase de iluminación	Zona de aplicación				
	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio L_{prom} (cd/m^2) Mínimo Mantenido	Factor de uniformidad U_0 Mínimo	Incremento de umbral TI% Máximo Inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_l mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M4	0,8	0,4	15	N. R	N. R

Ilustración 25. Parámetros fotométricos según la Tabla 4.

Para la parte peatonal los requisitos, según la Tabla 5 para el ítem **P4**, son los siguientes: Iluminancia horizontal – valor promedio en luxes = 5.0; valor mínimo 1.0.

Clase de iluminación	Iluminancia Horizontal (luxes)	
	Valor Promedio	Valor mínimo
P4	5,0	1,0

Ilustración 26. Parámetros requeridos para la parte peatonal según la Tabla 5.

Las Tablas 6 y 7 muestran los requerimientos necesarios para áreas críticas, sin embargo, al analizar la vía en todo su recorrido no se encontraron situaciones como las especifica el RETILAP, por lo que esta información no será relevante para el estudio. De este modo, la Tabla 8 muestra de manera mucho más específica los requerimientos fotométricos necesarios para el tipo de vía seleccionado, entonces:

Tipo de vía	Calzadas vehiculares				Ciclorrutas adyacentes		Relación de alrededores		
							En andenes adyacentes		Alrededor sin andenes
Clase de iluminación	L_{prom} cd/m^2	U_0 ≥ %	U_I ≥ %	TI ≤ %	E_{prom} **luxes**	U_0 ≥ %	E_{prom} **luxes**	U_0 ≥ %	**SR** %
M4	0,8	40	N.R.	15	10	40	6	33	N.R.

Ilustración 27. Requerimientos fotométricos generalizados según la Tabla 8.

Luego la Tabla 9, muestra la disposición de las luminarias en la vía, siendo este el caso de una vía tipo **M4**, la ubicación será unilateral.

Clase de iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M4	7 – 9	3,5 – 4	Unilateral	

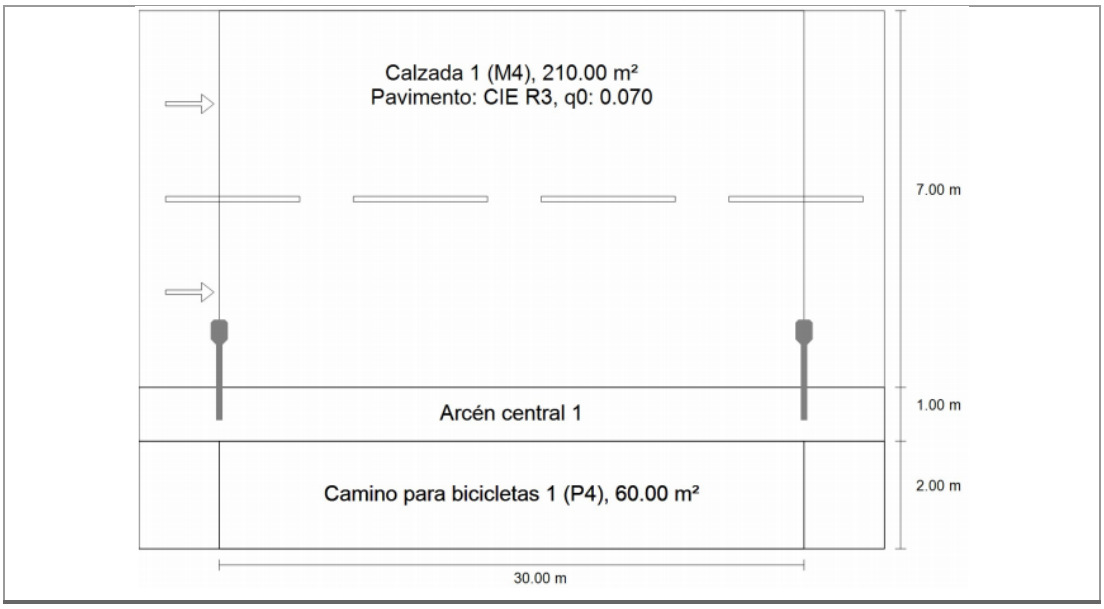
Ilustración 28. Disposición de luminarias en la vía según la Tabla 9.

El estudio fotométrico se realizó en el software Dialux Evo versión 9.1 [21], este software permite introducir los requerimientos lumínicos necesarios a tener en cuenta para posteriormente, mediante el uso de la luminaria correcta, suplir las necesidades de la vía para que se ajusten a dichos requerimientos, previamente filtrados. De esta manera, el software genera un informe el cual tiene todos los requerimientos necesarios, junto con los datos exactos de la luminaria a utilizar, entre otros datos importantes. Dicho esto, la luminaria que se utilizó para realizar la simulación fue la fabricada por la multinacional SYLVANIA Led Street Light Urban (ver anexos), ya que cumplía con las necesidades de la vía objeto de estudio.

El estudio arrojó los datos relacionados en la Tabla 11. Como se puede apreciar en la imagen de la tabla, se optó por la disposición unilateral de las luminarias, esta disposición es importante dado que de ese costado se encuentra la ciclorruta que pretende también ser cubierta por la iluminación. En cuanto al arcén central es importante destacar que existe una variación de esta medida en un pequeño tramo de la vía en el que este valor aumenta, sin embargo, dicha variación no es significativa para el estudio.

RESUMEN			
FABRICANTE	SYLVANIA	**P**	37.8W
Nombre del artículo	P27484 – LED Street Light 35W NW Urban	$\phi_{Lámpara}$	5443 lm
Lámpara	1x	$\phi_{Luminaria}$	5441 lm
		η	99.97%

P27484 – LED STREET LIGHT 35W NW URBAN (unilateral abajo)



Distancia entre mástiles	30m
Altura de punto de luz	8m
Saliente del punto de luz	1m
Inclinación del brazo	20°
Longitud del brazo	1.663m
Horas de trabajo anuales	4380h: 100%, 37,8 W
Consumo	1247.4 W/Km

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (M4)	L_m	$0.80\ cd/m^2$	$\geq 0.80\ cd/m^2$	✓
	U_o	0.56	≥ 0.40	✓
	U_l	0.84	≥ 0.50	✓
	TI	14%	≤ 15%	✓
	R_{El}	0.61	≥ 0.30	✓
Camino para bicicletas 1 (P4)	E_m	5.75 lx	[5.00 – 7.50] lx	✓
	E_{min}	2.64 lx	≥ 1.00 lx	✓

	Tamaño	Calculado	Consumo
P27484 – LED Street Light 35W NW Urban (Unilateral abajo)	D_e	$0.6\ kWh/m^2$ año	165.6 kWh/año

Tabla 11. Resumen estudio fotométrico en Dialux Evo.
Elaboración propia

En la vía existen un par de curvas que deben ser objeto de estudio y que se muestran en la Ilustración 30, ya que son un par de casos especiales en los que la interdistancia entre los postes se reduce y por tal motivo debe tenerse en cuenta a la hora de la distribución de los puntos de iluminación a lo largo de la vía según la disposición de las luminarias en cada una de estas curvas según los lineamientos del RETILAP.



Ilustración 29. Distribución de luminarias en las curvas de la vía.
Elaboración propia

4. ESTUDIO TÉCNICO CONTEMPLANDO LA ALTERNATIVA CONVENCIONAL UTILIZANDO LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SITIO

4.1. GENERALIDADES Y PRECISIONES TÉCNICAS

El Operador de Red, que en este caso es Enel Codensa, tiene sus propias recomendaciones en cuanto a la instalación de Alumbrado Público, estas normas están comprendidas dentro de una normativa general llamada Likinormas, funcionan como una muy buena guía para el desarrollo del proyecto ya que dentro de sus lineamientos se encuentran algunos datos estandarizados, lo cual permite realizar un mejor filtrado de la información. Para este caso y teniendo en cuenta los anteriores datos técnicos se puede establecer que, según el Operador de Red, la vía objeto de estudio está entre los tipos V-7, V-8 y V-9, según el POT de Bogotá, sin embargo, para este caso las condiciones de la vía coinciden y por este motivo se tendrán en cuenta.

Para este tipo de vías existen algunas recomendaciones por parte del OR, que facilitan los requerimientos técnicos de algunos aspectos importantes a tener en cuenta al momento de realizar el estudio fotométrico, sin embargo, las recomendaciones que se realizan en cuanto a la selección de la luminaria no se tendrán en cuenta ya que se optará por un diseño utilizando tecnología LED ya que la finalidad de todo proyecto de energía eléctrica debe ser la eficiencia energética.

Según Enel Codensa, las vías se clasifican así:

ARTICULO 155 DEL POT	
TIPO DE VÍA	**DESCRIPCIÓN**
V0, V1, V2 y V3	Vías que hacen marte de la malla arterial principal y la malla arterial complementaria.
V4, V5 y V6	Vías que hacen parte de la malla vial intermedia.
V7, V8 y V9	Vías que hacen parte de la malla vial local.

Tabla 12. Clasificación de las secciones viales.
Adaptado de [22]

La tabla anterior tiene en cuenta el artículo 155 el POT bogotano, es necesario tener en cuenta esta precisión para no entrar en confusión. De esta manera es posible conocer de antemano el tipo de requerimientos que serán tenidos en cuenta, sin embargo, son necesarios los datos que conlleva la simulación para establecer cuál es la luminaria correcta a usar en la vía. Luego de esta aclaración estar hecha se procede a establecer parámetros según el RETILAP.

Dentro de las normas propias de Enel Codensa (Likinormas), se menciona el dimensionamiento que debería de tener un transformador que vaya a ser destinado al alumbrado público, dichas dimensiones contemplan transformadores trifásicos y monofásicos, siendo los primeros de 30, 40 y 75 KvA y los segundos de 10, 15 y 25 KvA. Por este motivo se selecciona un transformador monofásico, sin embargo, cuando es de uso exclusivo de este servicio público, se recomienda que el transformador sea monofásico y que su salida secundaria sea monofásica trifilar 480/240 V y las

luminarias se conectarán entre fase y neutro a 240 V (Ministerio de Minas y Energía, 2010), y que tenga una potencia de las mencionadas previamente, es por esto que se seleccionó un transformador monofásico de 10 KvA, aislado en aceite para evitar sobrecalentamiento y daños del aislamiento, sin embargo, hay que tener presente que este valor deberá ser calculado para asegurarse que la potencia seleccionada es la correcta.

Teniendo en cuenta el tipo de conductores normalizados por Enel Codensa, se hace la selección del más apropiado para el diseño:

- La tensión de servicio estará entre 277, 280 o 240 V, siendo esta última la seleccionada debido a que es la tensión a la que se conectará el sistema de AP, según lo demanda el RETILAP.
- Pueden estar sometidos a una temperatura máxima de 45°C y una mínima de -5°C, también a una humedad relativa de hasta el 100%.
- La corriente nominal del circuito está dada por:

$$P_{Total} = 35\ W * (150\ luminarias) = 5250\ W \tag{3}$$

$$f.p\ (luminaria) = 0.95\ (-) \tag{4}$$

$$S = \frac{P}{f.p} = \frac{5250}{0.95} = 5526.32\ VA \tag{5}$$

$$V_{lum.} = 220\ V \tag{6}$$

$$I_{Total} = \frac{5526.32\ VA}{220\ V} = 25.12\ A \tag{7}$$

- El material del conductor será de cobre blando, para este caso, los conductores monopolares que normaliza Enel Codensa son 12 AWG ($3.31 mm^2$) y 14 AWG ($2.08 mm^2$).
- El seleccionado será el conductor monopolar 12 AWG ya que cumple con los requisitos técnicos y es el más utilizado para las acometidas de redes subterráneas de las luminarias de AP.
- Teniendo en cuenta los cálculos previos, se reafirma la decisión de seleccionar un transformador monofásico de 10 KvA, aislado en aceite y con salida trifilar, como lo recomienda el RETILAP.

En la Tabla 13 muestra los requerimientos técnicos del conductor monopolar 12 AWG.

Característica	Unidad	Calibre 12 AWG
Diámetro del alambre	mm	2,052
Área	mm^2	3,31

Resistencia D.C máxima 20°C	Ohmios/Km	5,213
Espesor promedio mínimo del aislamiento	mm	0,76
Espesor mínimo en un punto	mm	0,61
Color		Rojo
Tipo de cubierta		THW, THHW, o THWN
Clase (mínimo)	°C	75
Diámetro del conductor	mm	4,332
Peso	Kg/Km	29,4

Tabla 13. Características técnicas del conductor 12 AWG, según Enel Codensa.
Adaptado de [23]

La Ilustración 30 muestra un ejemplo de la marcación y de la disposición del aislamiento en el conductor. El tubo a utilizar será un tubo galvanizado de 2" que sigue la especificación técnica ET601, en cuanto a la caja de inspección puede ser sencilla ya que únicamente estará dispuesto allí el circuito de alumbrado público en BT.

El transformador estará en poste y los conductores descenderán a través del tubo galvanizado hasta la caja de inspección donde se intercontectarán de manera subterránea con todos los postes y luminarias. El tipo de tubo que se utilizará para la interconexión subterránea de los postes con las luminarias, será tubo Conduit PVC Tipo Pesado de 3", la distancia inicial aproximada que se abarcará será de 4500m que es la longitud que abarca el proyecto, de la misma manera, el poste que tendrá el transformador será de concreto para que soporte mejor el peso de este y también se dispondrá allí del medidor, requisito para los transformadores que superan los 5 KvA

Todos los elementos anteriormente mencionados deberán cumplir con las normas impuestas por el RETILAP y por el Operador de Red que en este caso es Enel Codensa con sus Likinormas.

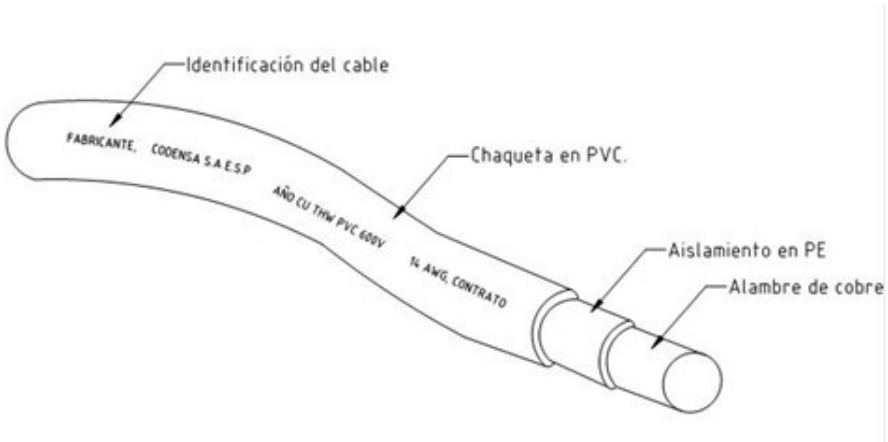


Ilustración 30. Ejemplo de la disposición final del conductor 12 AWG, según Enel Codensa.
Tomado de [23]

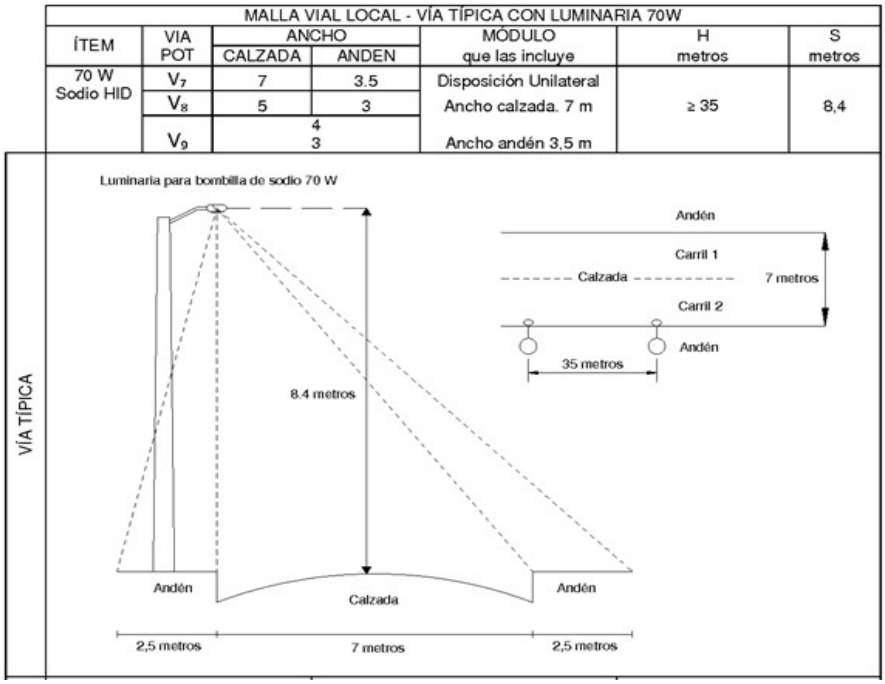


Ilustración 31. Modulaciones típicas de instalaciones de Alumbrado Público para vías tipo V-7, V-8 y V-9.

Adaptado de: [22]

4.2. MEMORIAS DE CÁLCULO

4.2.1. CÁLCULO DE LAS LUMINARIAS

Según el estudio luminotécnico y teniendo en cuenta los casos especiales que menciona el RETILAP, el cálculo total de las luminarias fue de 150 puntos de iluminación distribuidos a lo largo de la vía. La cantidad de cable necesario para la conexión de todos los equipos y teniendo en cuenta de que la conexión es trifilar y que se tendrán dos calibres diferentes en el circuito, el calibre del cable enterrado será de 8AWG mientras que el calibre del cable que empalma de manera subterránea con el enterrado y que realiza el ascenso hacia la luminaria será de 12AWG; entonces la cantidad de cable que transporta energía se calcula así:

- Calibre superior, 8 AWG

$$Distancia\ entre\ postes = 30\ m \quad (8)$$

- Calibre inferior, 12 AWG

$$Altura\ de\ postes = 8\ m$$
$$Enterramiento\ de\ postes = 0{,}8\ m$$
$$Longitud\ del\ brazo = 1{,}6\ m \quad (9)$$
$$\sum Recorrido\ total\ de\ cable\ de\ calibre\ inferior = 10{,}4\ m$$

Así, para llegar a un valor aproximado total de cable necesario se tiene que en un circuito monofásico van 3 cables equivalentes a fase, neutro y tierra (protección); teniendo la protección a tierra cada tercer poste para circuitos de alumbrado público. Entonces:

- Calibre 8AWG

$$Recorrido\ total\ subterráneo: 3 * 30\ m * (150\ luminarias) = 13500\ m \quad (10)$$

- Calibre 12AWG

$$Recorrido\ cable -\ empalme\ subterráneo = 2 * 10{,}4 * 150 = 3120m$$
$$Caso\ de\ la\ protección\ a\ tierra: 10.4\ m * (150\ luminarias) = 1560\ m \quad (11)$$
$$\sum Total\ cable\ del\ circuito = 3120 + 1560 = 4680\ m$$

De esta manera, el total de cable de 8AWG a utilizar aproximadamente será de 13.500m y de 12AWG será de 4.680m, sin embargo, debido a los diversos aspectos que hay que tener en cuenta al momento de realizar la instalación, es necesario dar una tolerancia en los metros totales de cable, de manera que el total resultante para el cable 8 AWG será de 13.620m y para el cable de 12AWG de 5.175. Para lograr establecer si hay que hacer algún tipo de corrección con respecto al conductor, es necesario realizar el cálculo de la caída de tensión de los dos conductores presentes en el circuito y verificar la regulación de tensión con el fin de asegurar que está dentro de los límites permitidos por la norma.

4.2.2. REGULACIÓN DE TENSIÓN

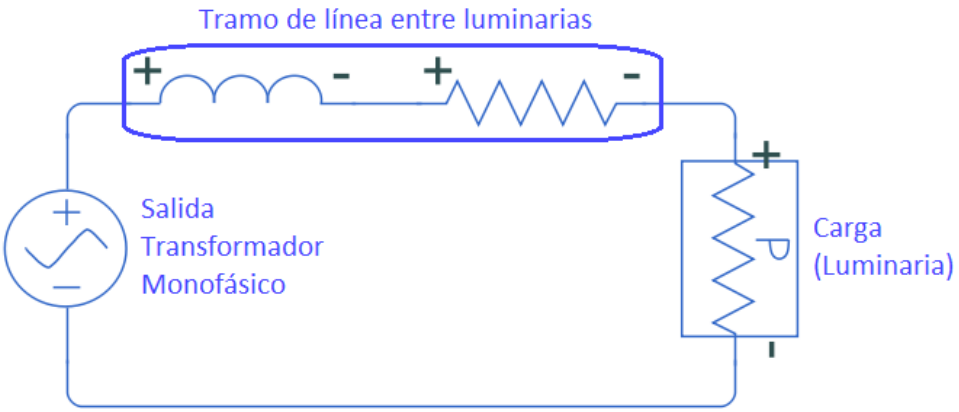


Ilustración 32. Diagrama unifilar para una sola luminaria.
Elaboración propia

De la Ilustración 32, se deducen los siguientes datos:

$$P_{1-luminaria} = 35\ W; fp = 0.95\ (-) \\ V = 220\ V \tag{12}$$

$$S_{1-luminaria} = \left(\frac{35\ W}{0.95}\right) = \ 36.8421\ VA \tag{13}$$

$$cos^{-1}(0.95) = 18.19° \tag{14}$$

$$I_{1-luminaria} = \frac{36.8421VA}{220\ V} \measuredangle -18.19° = 0.1674 \measuredangle -18.19°\ A \tag{15}$$

Se escoge cable calibre 12 AWG para conectar la luminaria y 8AWG para la acometida subterránea, teniendo en cuenta sus características técnicas, se obtienen los datos de resistencia y reactancia de los cables por cada kilómetro, así:

- Calibre 12AWG

$$R_l = 6.5617 \frac{\Omega}{km} \tag{16}$$

$$X_l = 0.1772 \frac{\Omega}{km} \tag{17}$$

$$Z_{tramo-línea}\ para\ 10{,}4\ metros: \\ (6.5617 + j0.1772\ \Omega) * \left(\frac{10{,}4\ \mathrm{m}}{1000\ \mathrm{m}}\right) = 0{,}068 \angle 1{,}54\Omega \tag{18}$$

$$V_{tramo-linea} = (0{,}068 \angle 1{,}54\Omega) * (0.1674 \measuredangle -18.19°\ A) \\ = 0.011 \angle -16.65°\ V \tag{19}$$

- Calibre 8AWG

$$R_l = 2{,}5591\ \frac{\Omega}{km} \tag{20}$$

$$X_l = 0{,}1706\ \frac{\Omega}{km} \tag{21}$$

$$Z_{tramo-línea}\ para\ 30\ metros: \\ (2{,}5591 + j0{,}1706)\left(\frac{30m}{1000m}\right) = 0{,}076 \angle 3{,}81\Omega \tag{22}$$

$$V_{tramo-línea} = (0{,}076 \angle 3{,}81)(0.1674 \measuredangle -18.19) = 0{,}012 \angle -14{,}38\ V \tag{23}$$

Debido a que se tendrá una conexión en paralelo de las cargas se puede asumir la misma caída de tensión para cada tramo de línea existente entre cada luminaria, teniendo así una caída de tensión total:

- Calibre 12AWG

$$V_{línea\ total} = (150) * (0.011\angle - 16.65) = 1{,}65\angle - 16{,}65\ V \quad (24)$$

- Calibre 8AWG

$$V_{línea-total} = (150)(0{,}012\angle - 14{,}38\ ) = 1{,}8\angle - 14{,}38\ V \quad (25)$$

Para obtener la regulación de tensión en el circuito, es necesario tomar en cuenta las caídas de tensión calculadas previamente:

- Regulación de tensión del cable calibre 12AWG

$$V_{total} = 220\ V + 1{,}65\angle - 16{,}65 = 221{,}58\angle - 0{,}12\ V \quad (26)$$

Así la regulación de tensión está dada por:

$$\%Reg = \left|\frac{220 - 221.58}{220}\right| * 100\% = 0{,}71\% \quad (27)$$

- Regulación de tensión del cable 8AWG

$$V_{total} = 220 + 1{,}8\angle - 14{,}38 = 221{,}74\angle - 0{,}11\ V \quad (28)$$

Así, la regulación estaría dada por:

$$\%Reg = \left|\frac{220 - 221{,}74}{220}\right| * 100\% = 0{,}79\% \quad (29)$$

De esta manera, la regulación de tensión total estaría dada por la sumatoria de las dos regulaciones de los dos calibres de cable presentes en el circuito, entonces:

$$\%Reg.Total = 0{,}71\% + 0{,}79\% = 1{,}5\% \quad (30)$$

Este porcentaje de regulación se encuentra dentro de los límites permitidos por la norma.

5. ESTUDIO TÉCNICO CONSIDERANDO UNA ALTERNATIVA SOLAR FOTOVOLTAICA INDEPENDIENTE

Para realizar el estudio técnico teniendo como alternativa la energía solar fotovoltaica, se tomaron en cuenta diferentes importantes aspectos como por ejemplo la relación del sombreado a lo largo de la zona objetivo, su ubicación geográfica y por ende los límites de radiación solar que alcanza la

ubicación según algunas bases de datos nacionales y también internacionales; dicho esto, se procedió a establecer estos lineamientos técnicos previos.

5.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO

El municipio de Bojacá en Cundinamarca está ubicado exactamente en las siguientes coordenadas Latitud: 4.733 Longitud: -74.35 Latitud: 4° 43' 59'' Norte Longitud: 74° 21' 0'' Oeste a 2563 metros de altitud sobre el nivel del mar [24]; estos datos son importantes ya que fueron utilizados para realizar las simulaciones correspondientes. De acuerdo con el IDEAM y su plataforma virtual interactiva Atlas Virtual, es posible conocer los diferentes índices de radiación solar en el territorio colombiano. Para las coordenadas especificadas del municipio de Bojacá en Cundinamarca se encontró que la radiación global horizontal está entre 4.0 y 4.5 kWh/m^2; en la misma plataforma también es posible conocer las horas de brillo solar a lo largo del día, que para este caso están entre 4 y 5 horas, se selecciona un promedio de 4.5hrs de brillos solar u horas de sol estándar.

5.2. RADIACIÓN SOLAR EN EL MUNICIPIO DE BOJACÁ

Aunque la vía objeto de estudio comunica a dos poblaciones diferentes, las fuentes de bases de datos no tienen una resolución muy amplia, por lo que da el mismo resultado tomar como referencia la vereda de El Corzo o el municipio de Bojacá para obtener los datos de radiación solar; debido a esto se seleccionó el municipio de Bojacá ya que aporta una mayor cantidad de datos. Los datos de radiación solar fueron tomados de la base de datos del programa para simulación de sistemas fotovoltaicos PVSystem, del cual se hablará más adelante, el cual posee una amplia gama de bases de datos, de las cuales la seleccionada por tener un mayor rango de años fue la “NREL NSRDB” (National Renewable Energy Laboratory – National Solar Radiation Data Base) que tiene un registro que abarca desde 1998 hasta el 2016. Los datos de radiación están relacionados en la Ilustración 33.

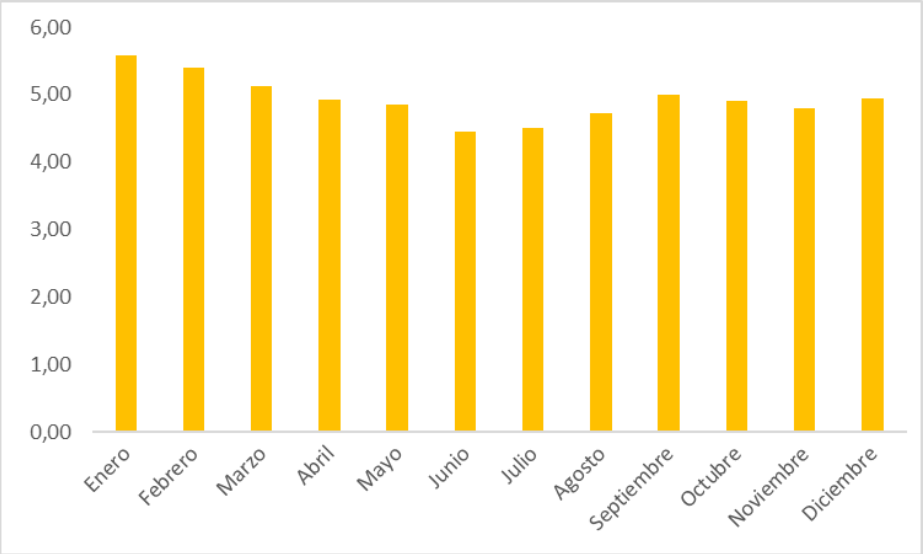


Ilustración 33. Datos de radiación solar en un año típico en el municipio de Bojacá en Cundinamarca.

Elaboración propia

De la anterior ilustración es posible deducir que el mes con menor radiación solar es el de Junio con 4,44 kWh/m², con base a esta información se pueden realizar el cálculo para dimensionar el número de paneles y la capacidad de la batería necesaria para el sistema.

5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Las luminarias que se van a utilizar son las mismas de la alternativa convencional, es decir, las de la marca Sylvania de 35W, mencionadas en la sección 3.2. Teniendo esto presente, el estudio se realiza teniendo como pilar fundamental el hecho de que el sistema va a ser completamente aislado de la red, lo que quiere decir que cada sistema panel-batería-luminaria, será independiente de los demás. De esta manera se pueden establecer los requerimientos de cada sistema y se pueden dimensionar sus componentes.

Para el caso del consumo energético de cada luminaria, es decir, los requerimientos de energía de cada sistema fotovoltaico se tienen entonces los datos de la Tabla 14.

Carga	Cantidad	Potencia (W)	Uso (Horas/día)	Energía (Wh/día)
12 Vdc				
Lámparas LED	1	35	12	420

Tabla 14. Requerimientos energéticos del sistema FV.
Elaboración propia

Se tiene entonces una energía total:

$$E_{Total} = 420\ Wh - día \tag{31}$$

Después de esto, y tomando los datos obtenidos previamente para la localidad, tenemos que:

$$Radiación\ promedio\ (peor) = 4.44 \frac{kWh}{m^2} \tag{32}$$

$$\begin{gathered} Temp.promedio\ anual = 19\ °C \\ Temp.máxima\ prom. = 22\ °C \\ Temp.mínima\ prom. = 7\ °C \end{gathered} \tag{33}$$

Se puede hallar también la productividad de referencia, que es el cociente entre la radiación solar sobre el generador y la irradiancia en condiciones estándar, de la siguiente manera:

$$Y_R = \frac{4.44\ kWh/m^2}{1\ kW/m^2} = 4.44\ horas \tag{34}$$

Es decir que se cuentan con 4.44 horas de brillo solar en esta localidad. Después se toma un factor de seguridad de: 0.2 para hallar la energía total a suministrar, así:

$$E_{total\ a\ suministrar} = E_{Total} * (1 + FS)$$
$$E_{total\ a\ suministrar} = 420\ [Wh - día] * (1 + 0.2) = 504[Wh - día] \quad (35)$$

Como siguiente paso, se dispone a calcular la potencia pico necesaria en el generador para este sistema:

$$P_{pico} = \frac{E_{total\ a\ suministrar}}{Y_R} = \frac{504}{4.44} = 113.51\ W \quad (36)$$

5.3.1. PANELES

Con base a la energía necesaria calculada previamente, es necesario determinar el número de paneles que deben ir dispuestos en cada sistema, es decir, deben cubrir esta demanda. Luego de realizar una búsqueda en el mercado se encontraron tres alternativas que se relacionan en el la Tabla 15, las cuales incluyen datos técnicos de batería, panel y luminaria, es decir, son kits solares para iluminación pública, lo cual es bastante benéfico ya que debe buscarse siempre el principio de mantener la misma marca en la instalación con el fin de asegurar cierto grado de calidad y de garantía en los equipos y por ende en el sistema.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LUMINARIAS, PANELES Y BATERÍA, POR MARCA			
Nombre del producto	**LED SOLAR KIT INTEGRADO**	**KIT SOLAR STREET URBAN**	**Integration Solar Street Light**
Marca	Sylvania	Sylvania	Ingesolar
Referencia interna	P28368-36	P37788-36	0300C40-01
Tipo de Tecnología	Todo en uno (sensor de proximidad y de movimiento)	Panel y luminarias independientes	Panel y luminaria independientes
Luminaria			
Pot. de luminaria (W)	40	35	40
Flujo luminoso (lm)	5.600	5.075	6.400
Temp. del color (K)	4.000	4.000	3.000
Eficacia lumínica (lm/W)	140	140	160
Vida útil (horas)	100.000	100.000	50.000
Panel			
Tecnología	Policristalino	Policristalino	Policristalino
Pot. de panel (W)	50	150	60

Volt. de función. panel (V)	12	12	18
Batería			
Cap. batería	12Ah	150Ah	40Ah
Tipo de batería	Lithium Ion	Acid Gel + Separador de Descarga	Lithium Ion
Volt de función. batería (V DC)	12	12	11.1
Ciclos de descarga (DOD)	1000 + DOD 50%	1000 + DOD 50%	2000 + DOD 90%
Registro fotográfico			

Tabla 15. Datos técnicos de las alternativas encontradas en el mercado.
Elaboración propia

La primera opción que se evaluó fue el Kit Integrado de Sylvania, posee un sensor integrado de movimiento y otro de presencia, sin embargo, es importante resaltar que estos sistemas no deben disponerse en vías vehiculares, sino que solamente deben ser instalados en ambientes como parques o incluso pasos peatonales, ya que el uso del sensor, debido a que funciona basándose en el principio de presencia de un objeto, es decir, una vez detecta un objeto la luminaria se enciende, sin embargo, su posible tiempo de respuesta podría confundir al conductor y ocasionar accidentes, en la tercera opción la batería tiene un mayor índice de descarga, por lo general, lo más recomendable es que el valor no supere el 85%, además la vida útil de la luminaria en condiciones normales es de 50.000 horas, la mitad de las otras dos opciones.

Por lo tanto, la segunda opción es la elegida, el Kit de Sylvania tiene un mejor índice de descarga de batería, del 50% debido a que es construida a base de GEL, esto hace que la batería tenga una vida útil más prolongada, además de que el fabricante ofrece la opción de programación para dimerización de la intensidad lumínica en intervalos de 4 horas con el fin de reducir el consumo de energía durante la noche.

De acuerdo con la Ilustración 34 el área del panel será de:

$$(1482mm)(676mm) = 1{,}001m^2 \approx 1m^2 \quad (37)$$

Conociendo este valor es posible conocer la potencia que recibirá el panel, ya que se sabe que a cuanto mayor área, mayor será la potencia que pueda recibir el panel. Es importante mencionar que

el valor de 1000 W/m^2 es la irradiación solar en una atmósfera y una temperatura ambiente estándar, es decir, este valor representa el valor ideal con el que trabajaría un panel solar.

$$P_r = Area\ del\ panel(m^2) * 1000\,W/m^2$$
$$P_r = 1m^2 * 1000\,W/m^2 = 1000W \quad (38)$$

Y la potencia de salida puede ser calculada teniendo en cuenta la eficiencia de un panel policristalino que está alrededor del 15%.

$$P_s = \eta * P_r$$
$$P_s = 15\% * 1000W = 150W \quad (39)$$

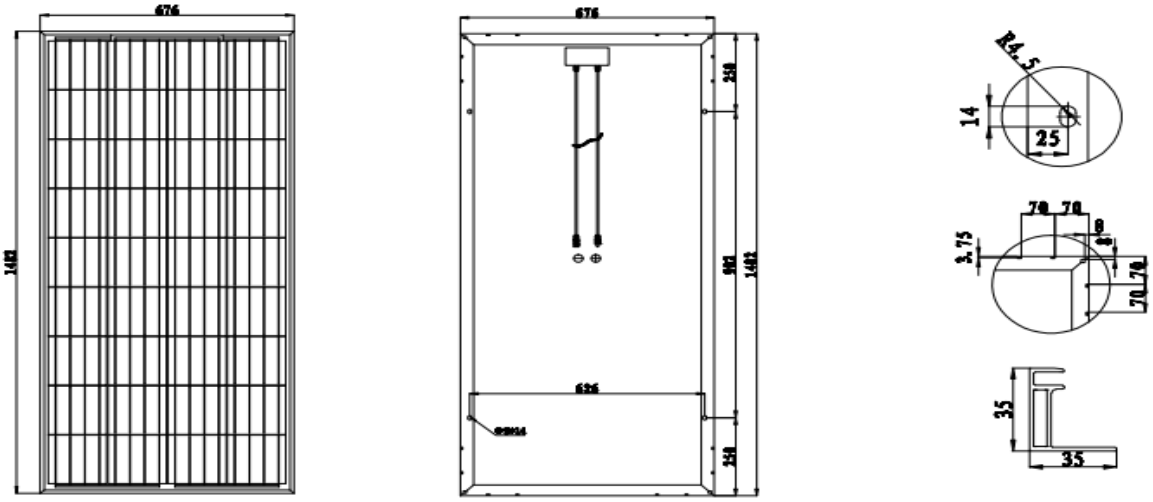


Ilustración 34. Dimensiones panel fotovoltaico seleccionado.
Tomado de: [25]

Ahora, conociendo estos datos nominales es posible calcular el número de paneles necesarios para el sistema.

$$\#paneles = \frac{Energía\ requerida}{Potencia\ panel * Hrs\ de\ brillo\ solar} \quad (40)$$

$$\#paneles = \frac{0{,}504kWh}{150 * 4{,}44} = 0{,}757\ paneles\ \approx 1\ panel$$

Teniendo en cuenta la ecuación (36), el valor de potencia pico requerida se puede redondear a 120W, asumiendo así que el panel solar disponible en el kit cumplirá con este requerimiento. Para complementar esta afirmación se puede hallar la corrección por temperatura del panel solar, tomando sus especificaciones técnicas:

Dimensiones del módulo	1482x676x35mm
Tip de celda	POLY CELL 156x156mm
Número de celdas	36(4x9)
Potencia Máxima (Wp)	150W
Tolerancia de potencia (%)	Ω ~3%
Voltaje Circuito Abierto (Voc)	22.7V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.69A
Voltaje Máximo (Vm)	18.3V
Corriente Máxima (Im)	8.20A
Serie máxima del susible	10A
Número de diodos	2
Tipo de cable y longitud	4mm2,90cm
Condiciones estándar de prueba	1000W/M2,25°C,AM1.5
Máximo voltaje del sistema	1000V/DC
Coeficiente de temperatura de Isc	+0.08558%/C
Coeficiente de temperatura de Uoc	-0.29506%/C
Coeficiente de temperatura de Pmpp	-0.38001%/C
Temperatura normal de operación de la celda	45°C
Eficiencia del módulo	15.0%

Tabla 16. Ficha técnica del panel solar.
Tomado de: [25]

Tomando la temperatura promedio del municipio de Bojacá junto con una irradiancia estándar:

$$Temp.promedio\ anual = 19\ °C, G = 1000\ W/m^2 \tag{41}$$

Con estos datos se puede calcular la temperatura en la celda y a su vez su delta de temperatura correspondiente:

$$T_C = Ta + \frac{NOCT - 20°C}{800\ W/m^2} * G$$
$$T_C = 19°C + \frac{45°C - 20°C}{800\ W/m^2} * 1000\ W/m^2 = 50.25°C \tag{42}$$

$$\Delta T = T_C - 25°C = 50.25 - 25 = 25.25°C \tag{43}$$

Conociendo este valor de delta de temperatura, se pueden hallar las variaciones de la corriente de corto circuito, la tensión de circuito abierto y la potencia pico generada por el panel solar:

$$\Delta I_{SC} = \Delta T * Coef(Isc) = 25.25°C * 0.08558\ \%/°C = 2.1608\%$$
$$I_{SC(19°C)} = 8.69\ A * (1 + 0.021608) = 8.878\ A \tag{44}$$

$$\Delta V_{OC} = \Delta T * Coef(Voc) = 25.25°C * -0.2951\,\%/°C = -7.45\%$$
$$V_{OC(19°C)} = 22.7\,V * (1 - 0.0745) = 21.01\,V \quad (45)$$

$$\Delta P_M = \Delta T * Coef(P_M) = 25.25°C * -0.38\,\%/°C = -9.595\%$$
$$P_{M(19°C)} = 150\,Wp * (1 - 0.09595) = 135.61\,W \quad (46)$$

Teniendo $\Delta P_M = |9.595\%|$ se comprueba que se cumple haber escogido un factor de seguridad (FS) de 0.2, ya que no podía ser menor a 0.1 y que el FS varía entre 0.1-0.2, de acuerdo a lo obtenido en la variación de la potencia. Después se calcula el factor de llenado (FF) y la eficiencia del dispositivo, así:

$$FF_{(19°C)} = \frac{P_M}{V_{OC} * I_{SC}} = \frac{135.61}{21.01 * 8.878} = 0.727 \quad (47)$$

$$\eta_{(19°C)} = \frac{P_M}{G * A} = \frac{135.61}{1000 * (1.482m * 0.676m)} * 100\% = 13.54\% \quad (48)$$

Finalmente, conociendo la potencia corregida por temperatura se puede verificar la cantidad de paneles que se necesitan para suplir la demanda energética del sistema:

$$\#paneles = \frac{0{,}504kWh}{135.61 * 4{,}44} = 0{,}837\ paneles\ \approx 1\ panel \quad (49)$$

5.3.2. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

La mayoría de las baterías están fabricadas para entregar una tensión de 12V o 24V, puede lograrse una entrada de tensión más alta poniendo varias baterías en serie y si el proyecto así lo requiere, para este caso se necesita una batería que entregue únicamente 12 V ya que la luminaria funciona a este nivel de tensión, será de GEL que utilizan una mezcla de azufre y sílice que inmovilizan los electrones [26].

Para hallar la capacidad nominal de la batería es necesario aplicar la ecuación (50):

$$C_N = \frac{E_{Suministrada}}{Vnom}(días\ autonomía) = \frac{504[Wh - día]}{12\,V} = 42\,Ah$$
$$C_N = \frac{504[Wh - día]}{12\,V} * (2\,días) = 84\,Ah \quad (50)$$

Tendrá una profundidad de descarga del 50% para una duración de 1000 ciclos, entonces, se puede hallar la capacidad corregida de la batería:

$$C_{Corregida} = \frac{84\ Ah}{0.5} = 168\ Ah \quad (51)$$

Con lo cual se puede comprobar que la batería que suministra el proveedor es aceptable para el proyecto, ya que esta es de 150Ah, lo que significa que esta puede cumplir con la demanda energética de la carga. El proveedor no entrega mayores datos técnicos acerca del regulador, solamente menciona que es del tipo MPPT, que es el encargado de proteger las baterías en caso de una sobrecarga o debido a una excesiva profundidad de descarga, sin embargo, cabe resaltar que este regulador debe cumplir con la restricción de $I_{Total-DC} \angle I_{MAX-Regulador}$. Se puede entonces calcular dicha corriente así:

$$I_{Total-DC} = \frac{P_{Total}}{V_{nom}} = \frac{35\ W}{12\ V} = 2.92\ A \quad (52)$$

También se resalta que no se hará uso de inversor puesto que la carga que alimentará la batería es también de corriente continua.

5.4. SOFTWARE PVSYSTEM

El software que se utilizó para realizar la simulación del estudio fotovoltaico fue PvSystem [27]. Dentro del software se pretende realizar una aproximación, lo más real posible, a los escenarios a los que se pueden ver expuestos los sistemas fotovoltaicos que, eventualmente, podrían llegarse a instalar en la vía objeto de estudio, como por ejemplo sombras de uno o de dos lados debido a la presencia de árboles a lo largo de la vía.

Originalmente, el software PVSyst está diseñado para arquitectos, ingenieros e investigadores, es también una herramienta educativa muy útil. Incluye un detallado menú contextual de ayuda que explica los procedimientos y los modelos usados y ofrece una aproximación amigable con el usuario con una guía para desarrollar un proyecto. PVSyst permite importar datos de Meteonorm, la cual es una combinación única de información climatológica y sofisticadas herramientas de cálculo para la interpolación de datos alrededor del mundo y administra una de las bases de datos climatológicos más completa del mercado; también como información adquirida de manera personal de múltiples fuentes [27].

Un aspecto importante a tener en cuenta, es que se hizo uso del software en su versión “30 days free trial”, es decir, una versión gratuita de 30 días. El software utiliza bases de datos de fabricantes y también bases de datos de sitios oficiales de datos meteorológicos que se basan en el uso de satélites y elementos de medición, algunos son sitios de la NASA y otros.

Al ingresar al software e ignorando la primera ventana que recuerda el uso gratuito temporalmente del software, el usuario se encuentra con la pantalla que se muestra en la Ilustración 35. Hay que tener en cuenta que el apartado de Proyectos Recientes estará vacío; la ilustración no lo está debido a que se han realizado diferentes proyectos en el software.

El software permite la creación de proyectos independientes de la red de distribución o proyectos conectados a la red, de la misma manera ofrece la opción para simular proyectos que tengan que ver con sistemas de bombeo; esto se puede ver en el apartado de Diseño y simulación de proyecto. En este trabajo, la escogencia fue por un proyecto independiente de la red de CA. Luego de iniciar un nuevo proyecto, en la Ilustración 35 se muestra la ventana subsiguiente en la cual en el apartado que está justo en el medio y con letras color naranja, va guiando al usuario respecto a los datos que se precisan ingresar para poder continuar con los siguientes pasos hasta finalmente llegar a la simulación.

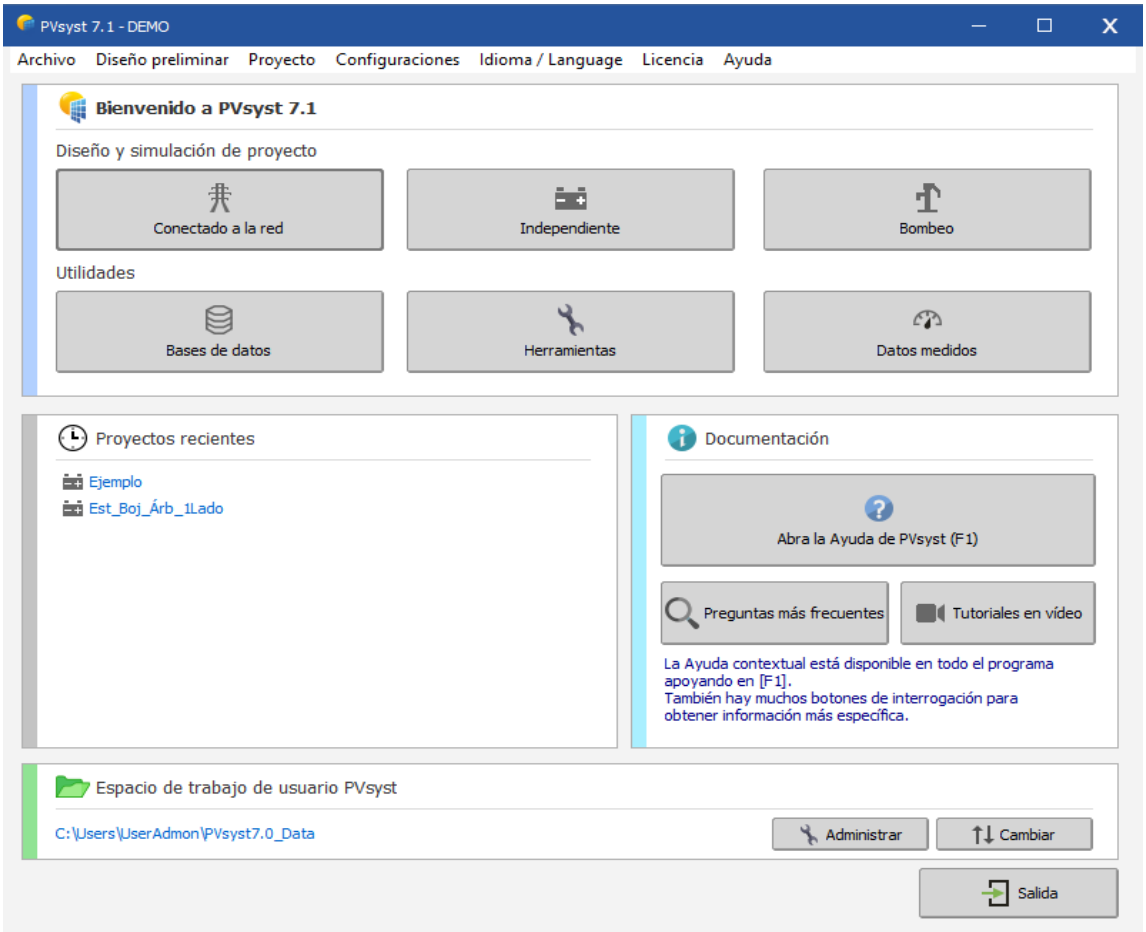


Ilustración 35. Captura de pantalla de la ventana inicial del software PVSyst.
Elaboración propia

Para seleccionar geográficamente la ubicación es posible encontrar la locación en el mapa que posee el software o ingresar los datos de coordenadas de la ubicación. Para poder seleccionar el sitio es necesario presionar sobre el ícono del papel blanco con el símbolo de adición encerrado en el círculo rojo en la Ilustración 37.

Posteriormente, en la Ilustración 38, se muestra el mapa para la ubicación del sitio seleccionado; en este caso se precisan las coordenadas mencionadas en las que queda el municipio de Bojacá; es posible seleccionar el sitio indicando las coordenadas en el espacio de “Locality” o yendo al apartado

de Coordenadas Geográficas e incluyendo allí los datos necesarios que se muestran en la ilustración 39.

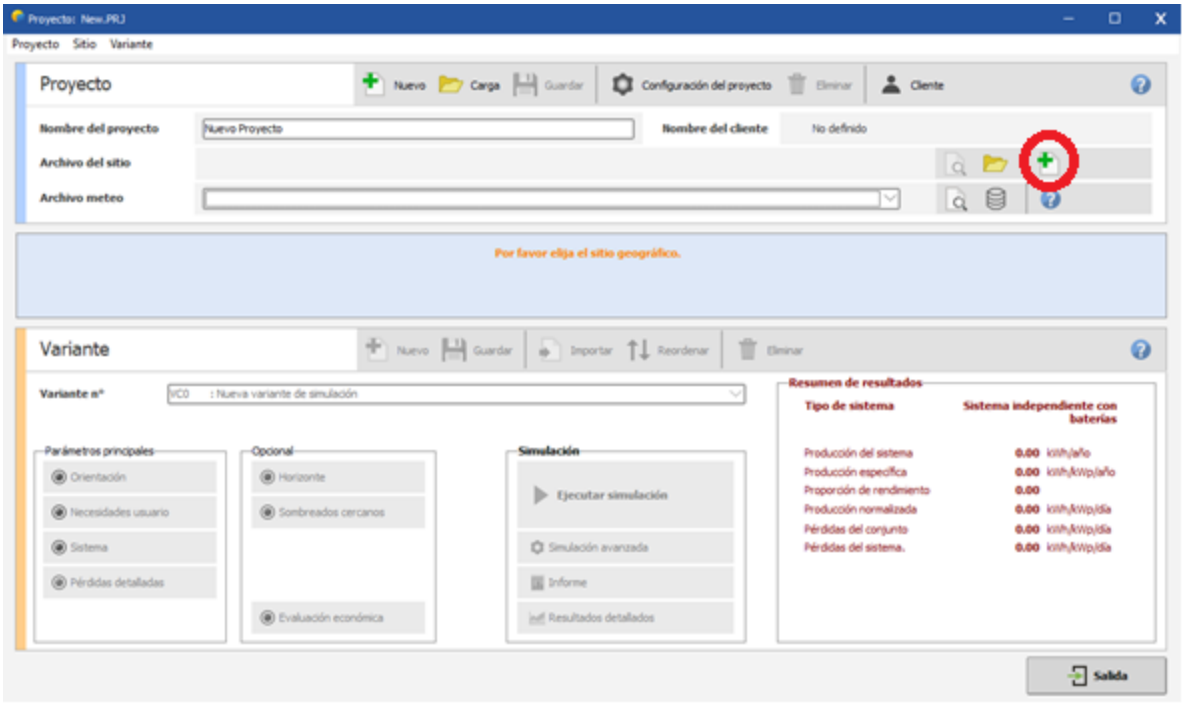


Ilustración 36. Captura de pantalla de Nuevo Proyecto del software PVSystem.
Elaboración propia

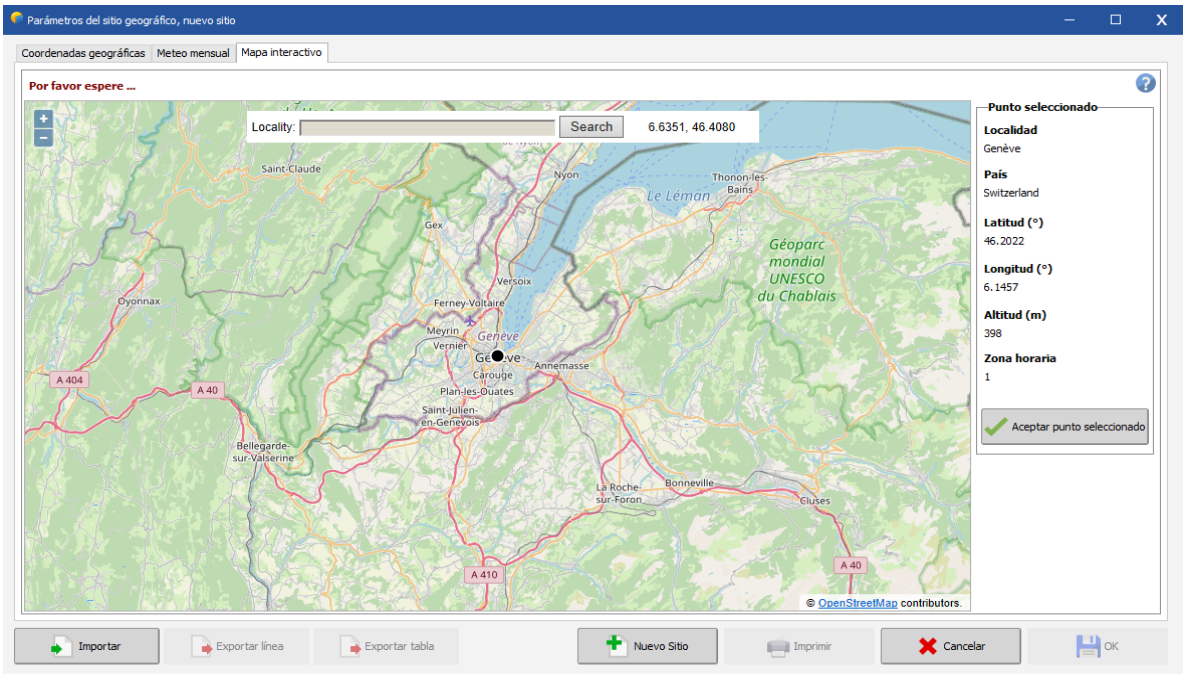


Ilustración 37. Ventana de selección de ubicación geográfica en el software PVSystem.
Elaboración propia.

En el panel encerrado en rojo del lado izquierdo de la Ilustración 39, se muestran los espacios donde debe incluirse la información de las coordenadas del sitio de estudio, mientras que en el panel de la derecha se muestran las diferentes bases de datos que se pueden seleccionar entre las que están las de Meteonorm 7.3, la base de datos de la NASA, PVGIS y finalmente la base de datos seleccionada para el caso del desarrollo de este proyecto que fue NREL/NSRDB ya que es la que abarca mayor y más reciente rango de años.

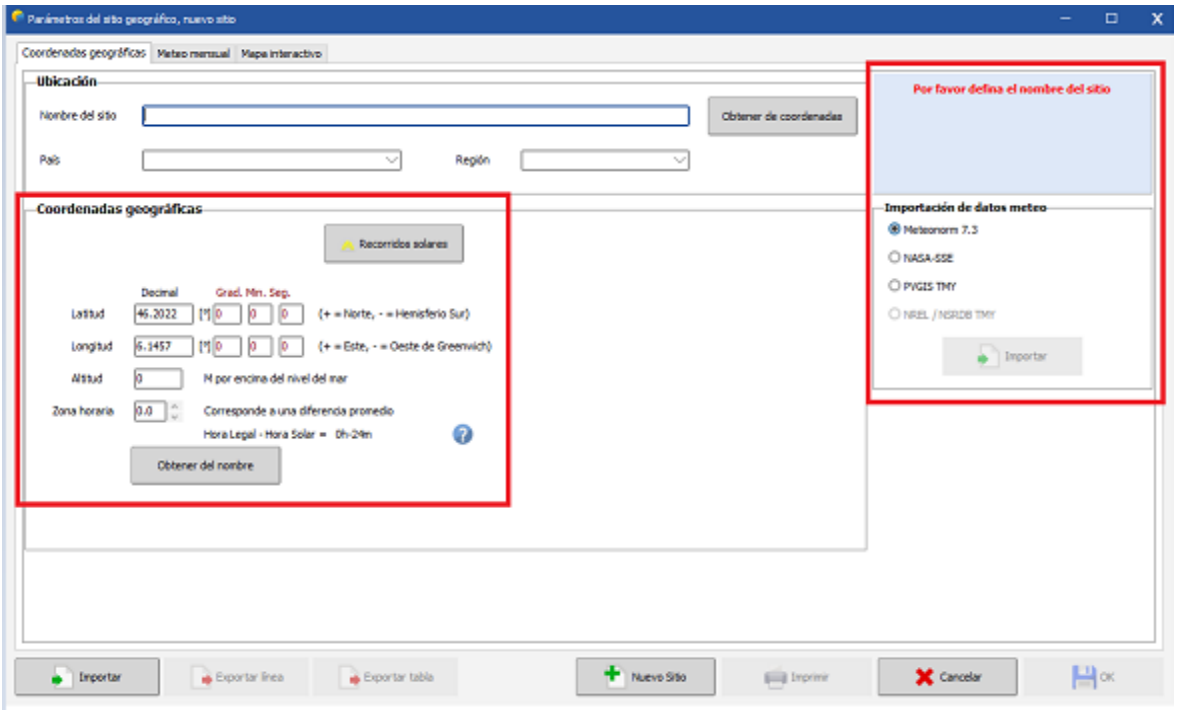


Ilustración 38. Panel de selección de bases de datos y selección de coordenadas del sitio del software PVSystem.
Elaboración propia.

Luego de ingresar las coordenadas y de seleccionar la base de datos, es necesario guardar el proyecto para que se pueda generar un archivo que es sobre el que el software va a trabajar posteriormente. Una vez guardado el archivo el software solicita fijar la inclinación del plano del panel, en cuanto a los grados de inclinación la UPME recomienda que no supere los 15° viendo hacia el sur, por lo cual se selecciona dicha inclinación que se muestra en la Ilustración 40.

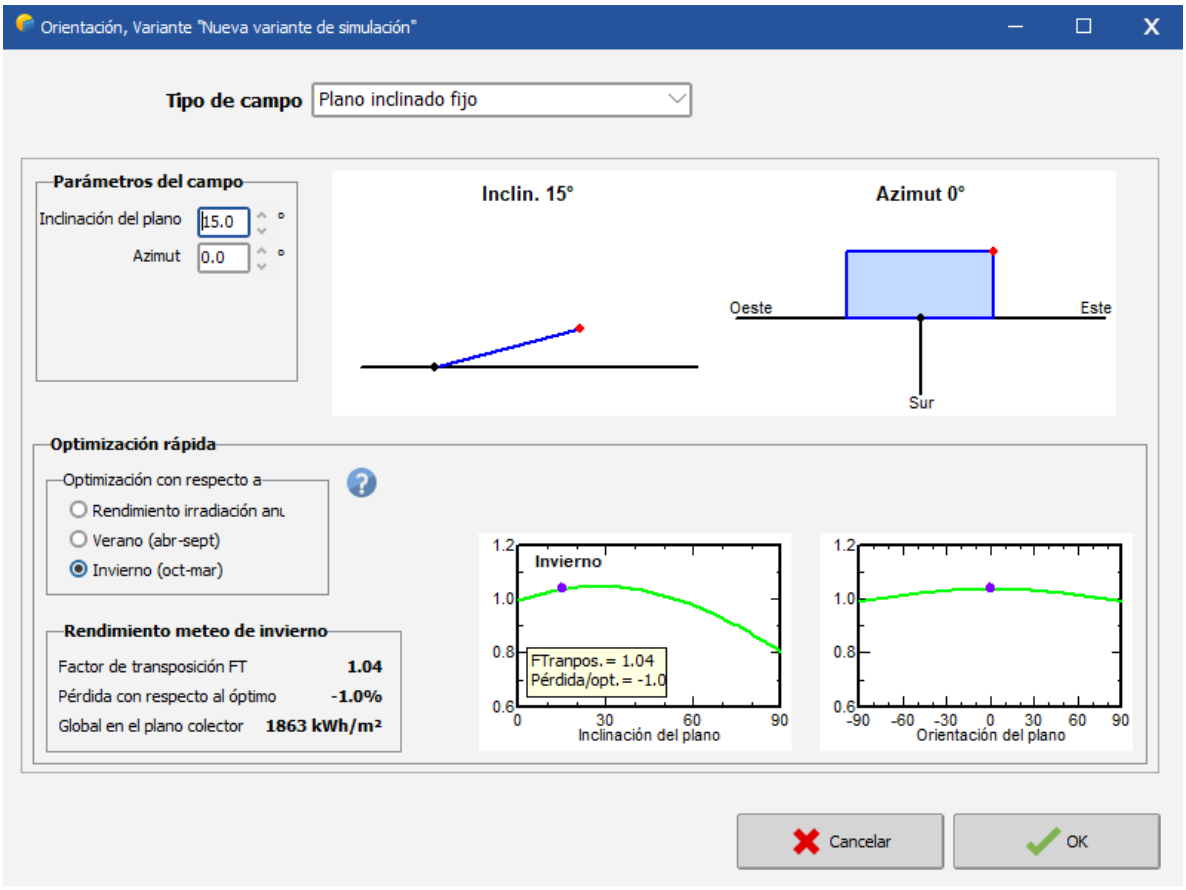


Ilustración 39. Selección del ángulo de inclinación.
Elaboración propia

Una vez establecido el ángulo del plano del panel, se procede a establecer las necesidades del usuario que para este caso será una sola lámpara LED de 35W y con una distribución horaria netamente nocturna, es decir, de 6pm a 6am. Se hace el estudio con una sola lámpara o luminaria debido a que cada sistema será independiente entre sí, por lo cual se analizará el caso de una única luminaria, es por esto que en las necesidades del usuario se define de esta manera; esto se muestra en la Ilustración 41.

Una vez definidas dichas necesidades, en la Ilustración 42, se procede a seleccionar el Sistema Fotovoltaico, para ello es necesario seleccionar el tipo de panel, de batería y de refrigeración que tendrán las baterías. El software realiza algunas recomendaciones en cuanto a la batería y potencia del panel se refiere, sin embargo, para este caso se seleccionará un tipo de panel y de batería que se asemejen lo más posible a los datos técnicos del kit lumínico fotovoltaico seleccionado previamente.

Para este caso, el sobredimensionamiento otorga dos días de autonomía, es decir, el sistema tendrá dos días en los que podrá operar sin recibir radiación solar o por lo menos sin recibir la totalidad de la radiación (4,44 KWh/m^2), esto es importante dado que lo más recomendable es dejar este valor a partir de dos, no fue superior ya que, al escoger un valor mayor, el rango de almacenamiento de la batería aumentaba considerablemente.

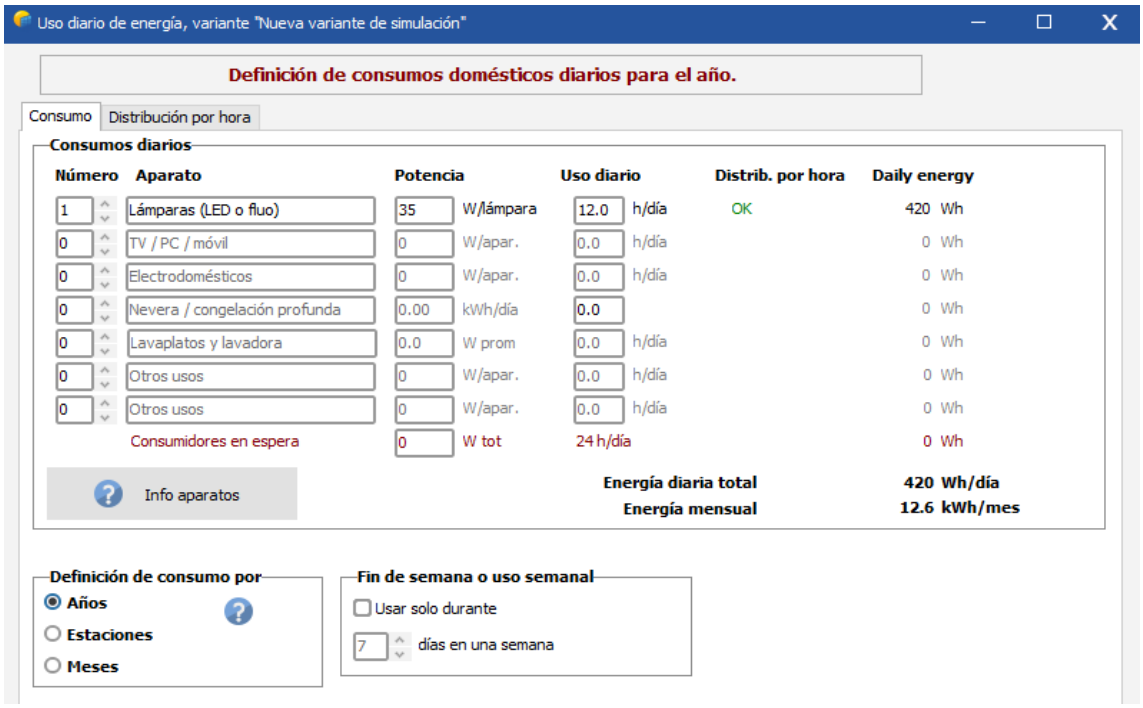


Ilustración 40. Definición de necesidades del usuario.
Elaboración propia

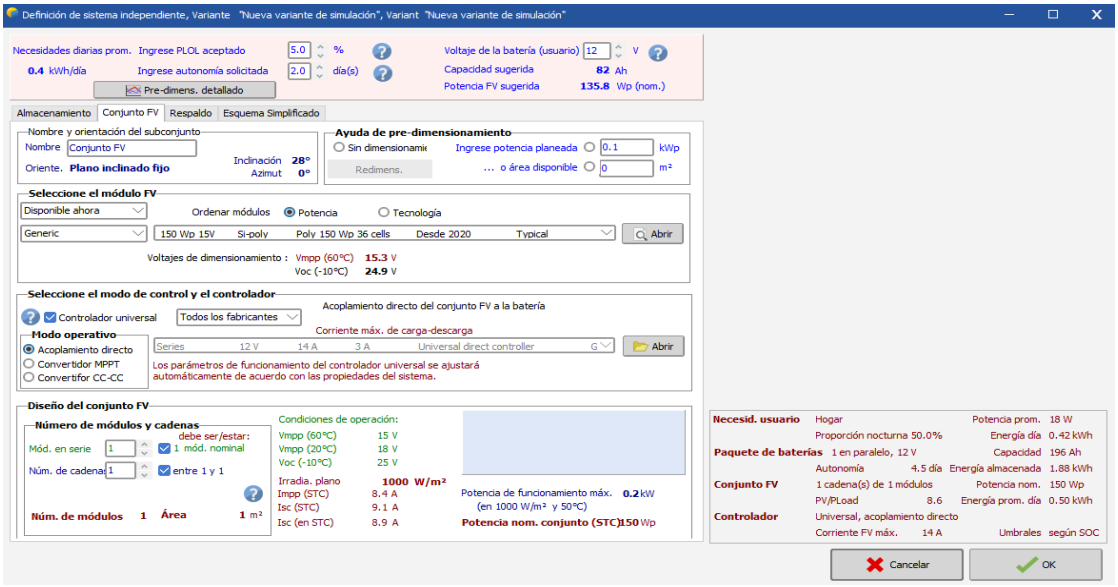


Ilustración 41. Selección del tipo de batería y panel, como del controlador y tipo de refrigeración de la batería.
Elaboración propia

Luego de haber recorrido la vía de manera virtual fue posible evidenciar que existe presencia de árboles en algunos tramos; en algunos puntos hay árboles a ambos lados de la vía, en otros solamente a un costado y en otros tramos no hay presencia de árboles; debido a esto y ya que el

software PVSystem permite la simulación de escenarios con sombreados, se realiza esta simulación partiendo de tres escenas diferentes, una con árboles de ambos lados, otra de un solo lado y finalmente una sin árboles. Para cada escenario el software produce un informe diferente, por tal motivo los informes se dejarán como anexos a este documento, sin embargo, se muestran las simulaciones de los sombreados.

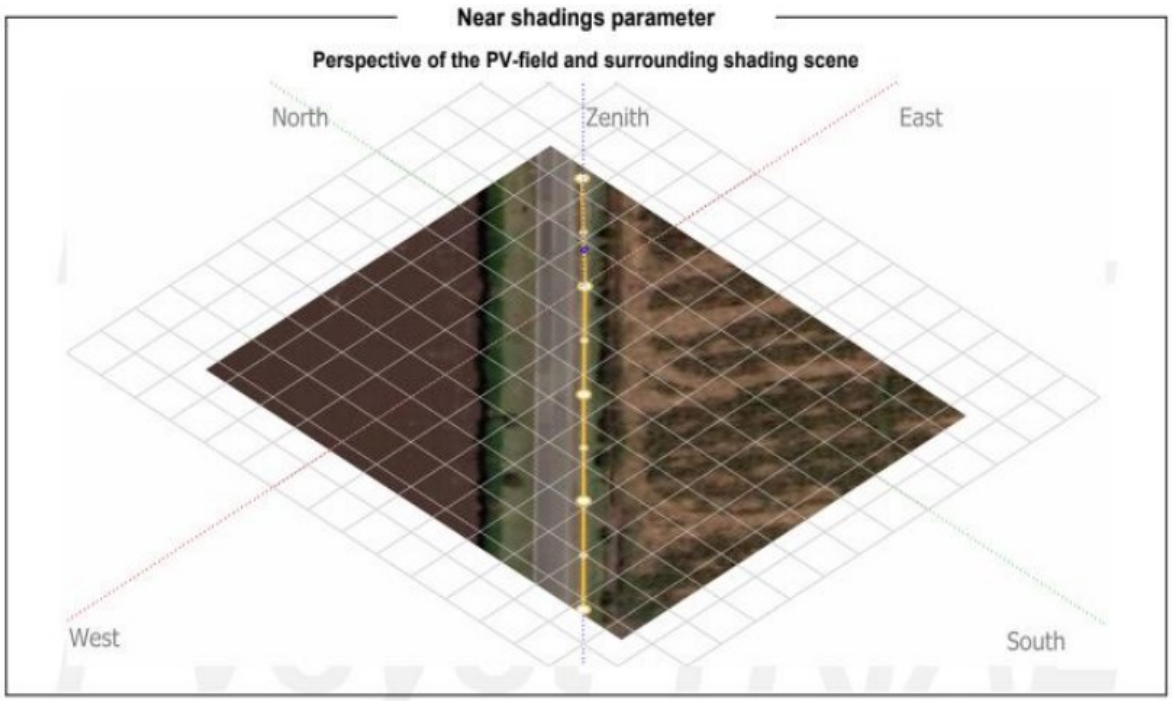


Ilustración 42. Vista de perspectiva sin árboles de ningún costado de la vía.
Elaboración propia

En la Ilustración 42 se muestra una vista de perspectiva de la vía en donde no hay presencia de árboles a ningún costado de la vía. Es importante mencionar que para realizar las diferentes simulaciones se hizo la recreación de un solo panel con las dimensiones lo más cercanas posibles a las del fabricante y con base a este único panel se realiza la simulación de los sombreados.

En la Ilustración 43 se muestra la simulación que tuvo lugar teniendo en cuenta la presencia de árboles de un solo costado de la vía, costado oriental para ser más exacto y en la Ilustración 44 se muestra la recreación con los dos lados de la vía con presencia de árboles, costados oriental y occidental. Estas simulaciones se realizan con la finalidad de conocer el porcentaje de pérdidas que podrían presentarse debido a la presencia de estos objetos naturales en la vía.

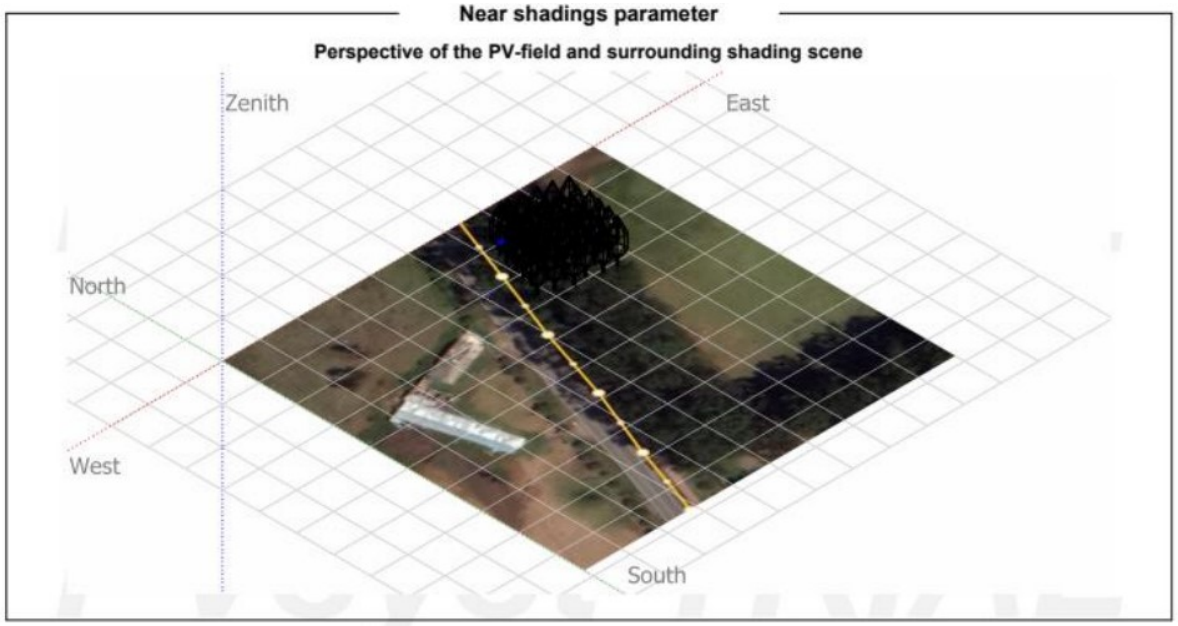


Ilustración 43. Escenario de simulación de sombreado con presencia de árboles en el costado oriental.

Elaboración propia

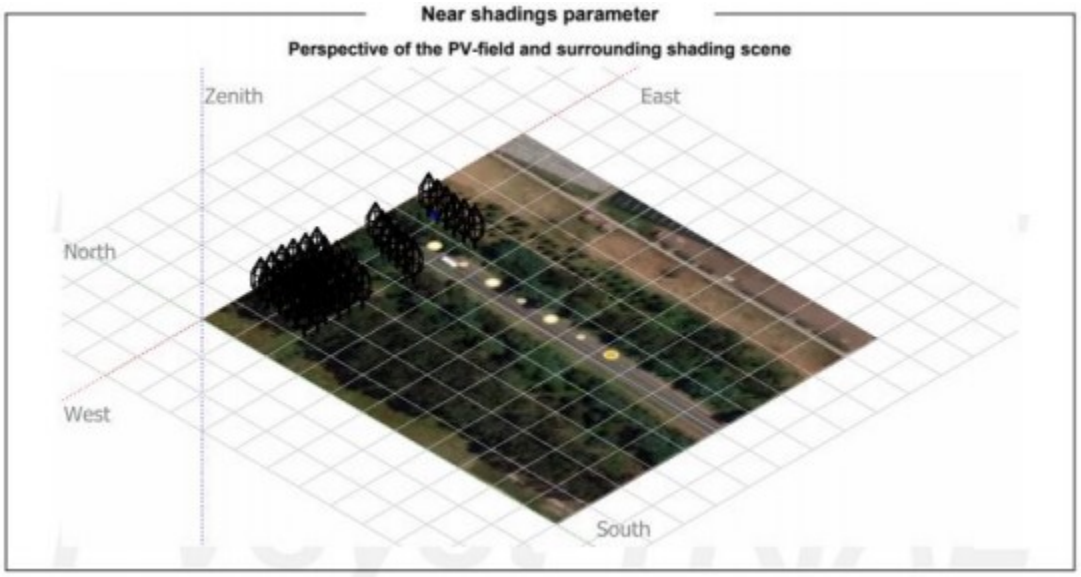


Ilustración 44. Escenario de simulación de sombreado con presencia de árboles en ambos costados de la vía.

Elaboración propia

6. ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico en este caso, analiza los costos de los distintos materiales que se deberían utilizar para llevar a cabo las dos diferentes alternativas, es decir, aprovechando la red de distribución de la zona objeto de estudio o instalando un sistema de generación fotovoltaico. Para ambos casos hay que tener en cuenta que pueden haberse omitido algunos costos debido a que posiblemente no se tuvieron en consideración algunos materiales o elementos ya que puede llegar a variar su uso dentro de la ejecución del proyecto; sin embargo, comparado con los valores totales, estos incrementos no representan un factor determinante.

6.1. COSTOS DE LA ALTERNATIVA CONVENCIONAL HACIENDO USO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA ZONA

Teniendo en cuenta las características y las cantidades de los equipos y materiales que se van a utilizar, en la Tabla 17 se realiza una descripción en la que se establecen también las cantidades aproximadas de cada material y en caso de necesitarse maquinaria pesada, también están dispuestos estos precios.

Ítem	Unidad	Cantidad	Vlr Unitario	Total
Materiales				
Led Street New Urban		150	$ 496.708	$ 74.506.200
Postes metálicos		150	$ 936.709	$ 140.506.329
Brazos metálicos		150	$ -	$ -
Cemento	BT	150	$ 25.700	$ 3.855.000
Arena	BT	300	$ 7.490	$ 2.247.000
Pernos 3/4"	Paq x 10	60	$ 208.680	$ 12.520.800
Tuercas para perno 3/4"		600	$ 176	$ 105.600
Tubo Conduit Galvanizado 2"	Unidad x 3m	2	$ 120.550	$ 241.100
Capacete Conduit galvanizado 2"		1	$ 13.000	$ 13.000
Tubo PVC tipo Pesado 3"	Unidad x 3m	1467	$ 43.093	$ 63.217.431
Flejes lisos	Paq x 50	6	$ 102.440	$ 614.640
Cable 8 AWG	Carrete x 1000m	14	$ 3.140.000	$ 43.960.000
Cable 12 AWG	Rollos x 100m	52	$ 144.400	$ 7.508.800
Transformador de 10kVA		1	$ 2.057.050	$ 2.057.050
Medidor de energía		1	$ 979.825	$ 979.825
Herramienta de mano	Caja	4	$ 1.000.000	$ 4.000.000
			Total	$ 356.332.775
Personal y mano de obra				

			Salario Indiv mensual	Total
Personal operativo	UND	8	$ 1.200.000	$ 28.800.000
Ingeniero eléctrico	UND	1	$ 2.500.000	$ 7.500.000
Operador montacarga	UND	1	$ -	$ -
Operador retroexcavadora	UND	1	$ -	$ -
Operador de aplanadora tipo rana	UND	1	$ -	$ -
Nota: Los precios de alquiler de maquinaria incluyen el pago del personal operativo de cada máquina.			Total	$ 36.300.000
Alquiler de Maquinaria				
Tipo de Maquinaria	Unidad	Cantidad	Vlr. Renta por Hrs	Total
Montacarga	UND	1	$ 5.555	$ 1.500.000
Retroexcavadora minicargador	UND	1	$ 50.000	$ 27.000.000
Mezcladora de concreto	UND	1	$ 4.322	$ 2.333.880
Aplanadora tipo rana	UND	1	$ 4.444	$ 1.200.000
			Total	$ 28.500.000
Transporte y movilización				
Movilización montacarga	Flete	2	$ 300.000	$ 600.000
Movilización de retroexcavadora	Flete	2	$ 350.000	$ 700.000
Movilización de la mezcladora de concreto	Flete	2	$ 150.000	$ 300.000
Movilización postes y brazos	Flete	1	$ 350.000	$ 350.000
Movilización luminarias	Flete	1	$ 300.000	$ 300.000
Movilización de tubería PVC	Flete	2	$ 300.000	$ 600.000
			Total	$ 2.850.000
			Total, consolidado parcial	$423.982.775

Tabla 17. Costos asociados a materiales y demás ítems. para un sistema de iluminación aprovechando la red de distribución.

Elaboración propia. Precios del año 2020

En la tabla anterior se muestran los precios de algunos de los materiales necesarios para llevar a cabo el proyecto; hay algunos elementos que no se tienen en cuenta debido a que pueden o no variar al momento de la ejecución del proyecto.

6.2. COSTOS DE INVERSIÓN PARA LA ALTERNATIVA SOLAR FOTOVOLTAICA

De la misma manera que para la alternativa considerando red de CA para el sistema de iluminación, para este caso también se tuvieron en cuenta los materiales necesarios según las características que ofrecen los diferentes proveedores, la gran mayoría de precios fueron obtenidos desde internet por lo cual las fuentes se encuentran en el apartado de referencias de este documento.

Ítem	Unidad	Cantidad	Vlr Unitario	Total
Materiales				
Kit Solar Street Urban		150	$ 2.980.872	$ 447.130.800
Postes metálicos	PST	150	$ 936.709	$ 140.506.329
Brazos metálicos		150	$ -	$ -
Cemento	Bultos	75	$ 25.700	$ 1.927.500
Arena	Bultos	150	$ 7.490	$ 1.123.500
Pernos 3/4"	Paquetes x 10	60	$ 208.680	$ 12.520.800
Tuercas para perno 3/4"		600	$ 176	$ 105.600
Flejes lisos	Paquete x 50	6	$ 102.440	$ 614.640
Herramienta de mano	Caja	4	$ 1.000.000	$ 4.000.000
			Total	$ 607.929.169
Personal y mano de obra				
			Salario Indiv.	Total
Personal operativo		8	$ 1.200.000	$ 9.600.000
Ingeniero eléctrico		1	$ 2.500.000	$ 2.500.000
Operador montacarga		1	$ -	$ -
			Total	$ 12.100.000
Alquiler de Maquinaria				
Tipo de Maquinaria	Unidad	Cantidad	Vlr. Renta x Hrs	Total
Montacarga		1	$ 5.555	$ 1.500.000
Retroexcavadora minicargador		1	$ 50.000	$ 13.500.000
Cortadora de concreto Diesel		1	$ 6.544	$ 1.767.000
Demoledor hexagonal		1	$ 6.211	$ 1.677.000
			Total	$ 18.444.000
Transporte y movilización				

Movilización montacarga		2	$ 300.000	$ 600.000
Movilización de retroexcavadora		2	$ 350.000	$ 700.000
Movilización postes y brazos		1	$ 350.000	$ 350.000
Movilización kits solares		1	$ 300.000	$ 300.000
			Total	$ 1.950.000
			Total, consolidado parcial	$ 640.423.169

Tabla 18. Costos asociados a materiales y a otros ítems para un sistema de iluminación con la alternativa solar fotovoltaica.
Elaboración propia

7. COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE ALTERNATIVAS

Para realizar la comparación técnica es necesario tener en cuenta algunos factores como la vida útil de los elementos que se van a utilizar en cada una de las alternativas y los ciclos de mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo, aunque generalmente se tienen en cuenta los más relevantes son los preventivos.

7.1. FACTOR DE MANTENIMIENTO Y PERIODO DE CAMBIO DE LUMINARIAS

Se hace uso de las mismas luminarias en las dos alternativas, lo que significa que la vida útil de esos elementos será la misma, sin embargo, las variaciones de estos elementos en las dos alternativas hacen también que cambien las posibilidades de los ciclos de mantenimiento necesarios para mantener el sistema funcional, para ello, el RETILAP facilita el cálculo de un factor de mantenimiento, el cual ayuda a establecer la periodicidad de dichos mantenimientos.

Según el RETILAP, el factor de mantenimiento está dado por la siguiente ecuación:

$$F_M = F_E * DLB * Fb \quad (53)$$

Donde:

F_M: $Factor\ de\ mantenimiento$
F_E: $Factor\ de\ ensuciamiento$
DLB: $Depreciación\ por\ descendimiento\ del\ flujo\ luminoso\ de\ la\ bombilla$
Fb: $Factor\ de\ balasto$

Originalmente, la ecuación es más larga, sin embargo, hay un par de aspectos que no se tienen en cuenta debido a la dificultad de conocer dicha información, como son los Factores por efectos nos controlables y los factores de reemplazo de bombilla.

De esta manera y teniendo en cuenta la siguiente información entregada por el RETILAP respecto a los periodos de mantenimiento de los equipos según su nivel de protección IP (Ingress Protection) e IK (Indica mínima o máxima resistencia mecánica); según la ficha técnica de la luminaria posee una protección IP66 e IK08. En la Tabla 18 se muestran los factores de ensuciamiento según el caso de las protecciones IP e IK antes mencionadas.

Tipo de vía o clase de iluminación	Nivel de contaminación	Índice de hermeticidad (IP) de la luminaria	Periodo en meses de limpieza del conjunto óptico de la luminaria	Factor de ensuciamiento F_E
Avenidas en el centro de algunas ciudades	IV	6X(a)	6	0,91
		6X(b)	6	0,93
M2 y M3	III	6X(a)	12	0,91
		6X(b)	12	0,93
M4 y P1 a P3	II	6X(a)	24	0,89
		6X(b)	24	0,91
M5 P4 a P7 y parques	I	6X(a)	36 o cambio de la bombilla	0,90
		6X(b)		0,95

Tabla 19. Factores de ensuciamiento de las luminarias.
Tomado de: [3]

(a): Cierre del conjunto óptico mediante ganchos u otros elementos que cumplan esa función
(b): Conjunto óptico completamente sellado

Para el caso específico de la vía en estudio y según los datos derivados del estudio fotométrico, también teniendo la información que provee el fabricante, el factor de ensuciamiento será de 0,91. Para hallar el factor DLB es importante revisar la ficha técnica del fabricante, en la Ilustración 45 se aprecia la curva de la depreciación del flujo luminoso, y el factor de balasto generalmente para una luminaria LED es de 1 también, de manera que al reemplazar en la ecuación se tiene que:

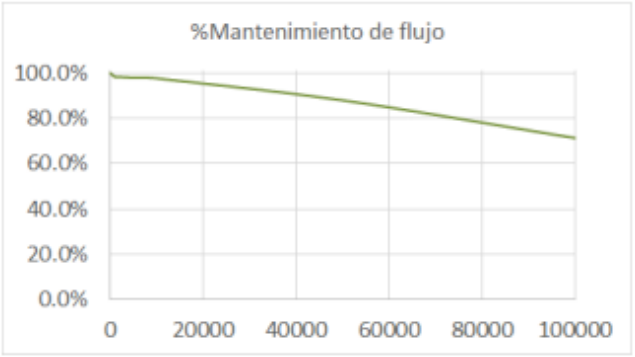


Ilustración 45. Depreciación del flujo luminoso en la luminaria.
Tomado de: [28]

Sabiendo este dato, es posible afirmar que:

$$F_M = 0{,}91 * 0{,}7 * 1 = 0{,}637 \quad (54)$$

Es necesario también tener en cuenta el cambio de las luminarias; el RETILAP recomienda que se realice el cálculo del reemplazo considerando el 70% de su vida útil y como ya se mencionó en los capítulos anteriores, la vida útil de la luminaria seleccionada es de 100.000 horas, entonces se tendría que al cabo de 70.000 horas la luminaria debería ser reemplazada debido a que, como menciona el reglamento, algunas luminarias terminan su vida útil de manera anticipada por diversas razones, entonces, esta información en años es:

$$U_A = 12hrs * 7días * 4semanas * 12meses = 4032\ hrs \quad (55)$$

Donde U_A representa la utilización anual de las luminarias; entonces:

$$Cambio\ luminaria = \frac{70.000}{4032} = 17{,}36 \approx 17\ a\ 18\ años \quad (56)$$

Es decir que, al cabo de un periodo comprendido entre los 17 y 18 años, se deberá realizar el reemplazo de las luminarias.

Luego, el cálculo del cambio de las luminarias funciona para las dos alternativas, sin embargo, es el único punto coincidente entre las dos alternativas, por lo que se realiza un análisis del cambio de estos elementos en cada caso.

7.2. VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS DEL SISTEMA FUNCIONAL CON RED DE DISTRIBUCIÓN

En el caso de la red de distribución y para el caso de la propuesta desarrollada, existen dos elementos que cobran especial relevancia en cuanto a lo técnico se refiere, las luminarias, previamente analizadas en su vida útil y el transformador.

7.2.1. VIDA ÚTIL DEL TRANSFORMADOR

El transformador a utilizar es del tipo monofásico trifilar con salida 440/220V en la parte de baja tensión, típicamente para este tipo de transformadores, aislados en aceite y con estas características, los fabricantes tienden a ofrecer un tiempo de vida útil de 20 a 35 años y una vida útil mínima de 25 años en funcionamiento a temperatura entre 65°C y 95°C, trabajando a valores nominales [29].

7.3. VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA FUNCIONAL CON ALTERNATIVA FOTOVOLTAICA

De la misma manera que para la alternativa convencional, en este caso también existen elementos que cobran especial relevancia técnica, siendo los paneles y baterías de los elementos más importantes de este sistema.

7.3.1. VIDA ÚTIL DEL PANEL SOLAR

Los paneles solares deben ser capaces de soportar todas las condiciones meteorológicas a las que son expuestos (calor, frío y mal tiempo), sin embargo, su vida útil no es infinita. Como norma general, tienen una esperanza de vida de 25 años, algunos incluso llegan a funcionar durante 30 años o más. Pero su potencia disminuirá después de los veinte años de funcionamiento, ya que sus células fotovoltaicas presentan una degradación a través de los años [30]. Para este sistema en cuestión, el panel solar que se va a utilizar tiene una potencia máxima de 150 W y una vida útil de 20 años al 80% de su potencia máxima nominal.

7.3.2. VIDA ÚTIL DE LA BATERÍA

La vida útil de una batería se entiende como la cantidad de ciclos que puede soportar la misma, conservando la capacidad residual por encima del 80% de su capacidad nominal. En instalaciones fotovoltaicas se mide en número de ciclos de carga/descarga [31]. Para el sistema de estudio la batería tiene una capacidad nominal de 150 Ah, un ciclo de funcionamiento de 1000 ciclos y una profundidad de descarga (DOD) del 50%, así pues, se tiene una vida útil estimada de 3 años.

7.4. ESCENARIO ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS

Debido a la naturaleza de las dos alternativas se deben consideras algunos aspectos económicos importantes como por ejemplo la vida útil de los equipos y las diferencias entre la inversión inicial de cada caso.

7.4.1. ESCENARIO ECONÓMICO DE LA ALTERNATIVA CONVENCIONAL

Como se observó previamente en la Tabla 17, la inversión inicial aproximada para esta alternativa es de $423.982.775 COP, el RETILAP menciona algunos métodos de evaluación económica de los costos del proyecto los cuales sirven para determinar el costo total del proyecto, teniendo en cuenta aspectos como, por ejemplo: costo anual de operación, costos de mantenimiento, entre otros. De la misma manera el RETILAP también sugiere que se evalúe en un periodo de 30 años.

Para realizar este cálculo se tiene en cuenta la ecuación (57):

$$VP(CAO) = CAO * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n}\right) \quad (57)$$

Teniendo así,

i = Tasa de descuento establecida por la CREG (16,06 % según el RETILAP)

n = Número de periodos (30 años)

CAO = Costos Anuales de Operación; para calcular este valor es necesario conocer el valor del mantenimiento de la infraestructura y el consumo de energía eléctrica.

Para conocer el valor del consumo energético del sistema se realiza una proyección de la variación del precio del kWh de alumbrado público, teniendo en cuenta los 36 meses inmediatamente anteriores a enero de 2021. Estos valores fueron establecidos por Enel-Codensa [32], de los cuales se obtiene el siguiente gráfico:

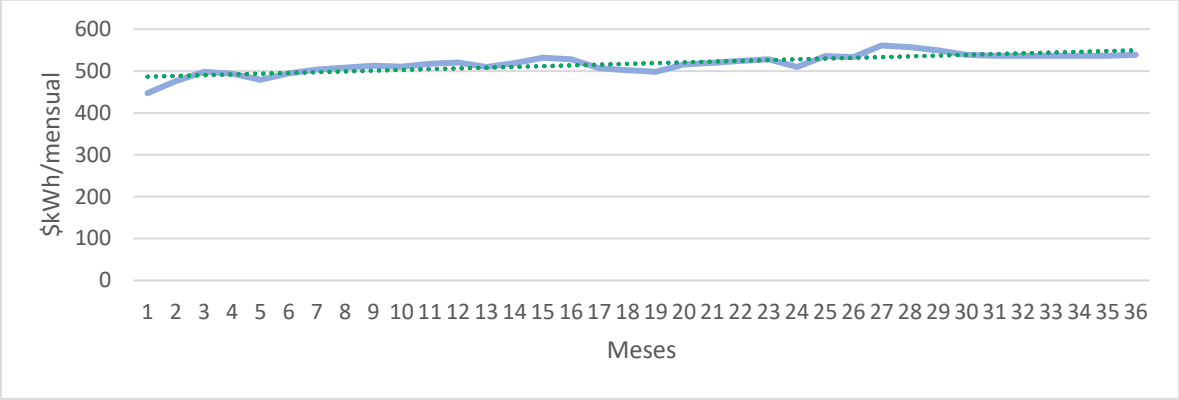


Ilustración 46. Variación del precio del kWh (enero 2018 – diciembre 2020)
Elaboración propia

En el anterior gráfico se puede observar que el comportamiento del precio de la energía es casi lineal por lo cual es posible utilizar una ecuación de interés simple:

$$VF = VP * (1 + i)^n \tag{58}$$

De la ecuación (58) se despeja la tasa de crecimiento (i):

$$i = \sqrt[n]{\left(\frac{VF}{VP}\right)} - 1 \tag{59}$$

$$i = \sqrt[36]{\left(\frac{538.8003}{447.2392}\right)} - 1 = 0.005187 * 100\% = 0.518\% \tag{60}$$

Luego de hallar la tasa de crecimiento es posible asumir el precio de la energía al finalizar el año 2021, de la siguiente manera:

Mes	Variación precio ($i = 0.518\%$)	Valor energía mensual
Enero	$ 541,49	$ 1.023.424,23
Febrero	$ 544,30	$ 1.028.725,56
Marzo	$ 547,12	$ 1.034.054,36
Abril	$ 549,95	$ 1.039.410,76
Mayo	$ 552,80	$ 1.044.794,91
Junio	$ 555,67	$ 1.050.206,95
Julio	$ 558,54	$ 1.055.647,02
Agosto	$ 561,44	$ 1.061.115,27
Septiembre	$ 564,34	$ 1.066.611,85

Octubre	$ 567,27	$ 1.072.136,90
Noviembre	$ 570,21	$ 1.077.690,57
Diciembre	$ 573,16	$ 1.083.273,01
Valor total energía al año=		$ 12.637.091,40

Tabla 20. Proyección del valor de la energía para el año 2021
Elaboración propia

Según el Artículo 24 de la Resolución CREG 183 [33], para hallar el valor del CAOM (Costo Máximo de la Actividad de la Administración, Operación y Mantenimiento de la infraestructura del sistema de alumbrado público), se debe considerar la ecuación allí estipulada.

$$CAOM = \sum_{n=1}^{2} [(CRTAn * (FAOM + FAOMS) * ID) - VCEEIn] \quad (61)$$

Donde:

n: Nivel de tensión 1 o 2

CAOM: Costos de administración, operación y mantenimiento de la infraestructura en pesos

CRTAn: Costo de reposición a nuevo de todos los activos del SALP del nivel de tensión n. Incluye el costo de la infraestructura entregada por el municipio y/o distrito y aquel resultado de la expansión, modernización y reposición en pesos constantes del mes de presentación de la oferta por parte del prestador del Servicio de Alumbrado Público, o del mes de actualización de precios.

FAOM: Fracción máxima del costo de reposición a nuevo CRTAn que reconoce los gastos de AOM. Su valor es 0,04.

FAOMS: Fracción máxima del costo de reposición a nuevo CRTAn que reconoce los gastos AOM adicionales en zonas de contaminación salina. Su valor es 0,005.

ID: Índice de disponibilidad de las luminarias del SALP. Sólo se considera la indisponibilidad de aquellas luminarias reportadas al SIAP como prendidas cuando deben estar apagadas.

VCEEIn: Valor en pesos del consumo de energía eléctrica por indisponibilidad de luminarias en el nivel de tensión n. Sólo se consideran aquellas luminarias que están reportadas al SIAP como prendidas cuando deben estar apagadas.

Reemplazando estos valores en la Ecuación (61) da como resultado lo siguiente:

$$CAOM = 423'982.765 * (0{,}04 + 0{,}005) * 1 = \$19'079.224{,}88 \quad (62)$$

Finalmente, con este valor de CAOM, se puede obtener el valor presente de los costos anuales de operación a 30 años, mediante la ecuación (58):

$$VP(CAOM) = \$19{,}079{,}224.88 * \left(\frac{(1+0.1606)^{30}-1}{0.1606*(1+0.1606)^{30}}\right)$$

$$VP(CAO) = \$117{,}437{,}445.61 \tag{63}$$

El valor presente total del proyecto (P_T) se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$VPN = P_T = CI + VP(CAO) - VP(VS) \tag{64}$$

VP (VS) representa el valor presente del valor de salvamento, sin embargo, según el RETILAP en proyectos de iluminación no se tiene en cuenta este valor, entonces:

$$P_T = CI + VP(CAO)$$
$$P_T = \$423{,}982{,}775 + \$117{,}437{,}445.61 \ = \$541{,}420{,}220.61 \tag{65}$$

Es importantes mencionar que las ecuaciones (63), (64) y (65) fueron tomadas del RETILAP [3].

7.4.2. ESCENARIO ECONÓMICO ALTERNATIVA FOTOVOLTAICA

Como se puede observar en la Tabla 18, el valor de la inversión inicial para esta alternativa es de $640.423.169 COP, contrastado con el costo inicial de la opción convencional es notablemente más elevada. Sin embargo, es necesario analizar otros aspectos importantes para así poder determinar la viabilidad de esta alternativa.

Debido al alto costo de inversión se plantea un escenario en el cual se solicita un crédito a la entidad Findeter con el fin de cubrir la totalidad del valor del proyecto. Findeter financia operaciones de crédito y de leasing tanto en pesos como en dólares para apoyar a los sectores público y privado con recursos para capital de trabajo, inversión y sustitución de deuda, y para proyectos que apliquen a los sectores que respaldan [34], como es el caso del sector energético. Algunos de los beneficios de adquirir un crédito con esta entidad son los siguientes:

- Financiación hasta del 100% del costo del proyecto con un plazo máximo de 15 años, con máximo 3 periodos de gracia.
- Flexibilidad en la forma de pago: mensual, bimensual, trimestral, semestral, anual; vencida o anticipada.
- Amortización a capital en cuota fija.
- Opción de solicitar desembolsos parciales de acuerdo a la necesidad del proyecto.

Teniendo en cuenta estos beneficios se plantea la posibilidad de solicitar un crédito con esta entidad, de esta manera se tendrían los siguientes datos: es necesario conocer la tasa nominal mensual (TNM) para poder determinar el valor de la cuota fija y de los intereses, así como el valor a amortizar mensualmente. Se describen las ecuaciones necesarias para hallar estos valores y luego con ayuda de la herramienta Excel se realiza la tabla de amortización a 15 años (180 meses).

$$TNM = \left[\left[\left(1 + \frac{TEA}{100}\right)^{\frac{n}{360}}\right] - 1\right] * 100 \quad (66)$$

Donde:

TNM: Tasa Nominal Mensual

TEA: Tasa Efectiva Anual

n: número de días entre cuota

La TEA se halla teniendo en cuenta el valor del IPC +3% (Índice de Precio al Consumidor) siendo este de 1.61% para el año gravable 2020, ya que esta es la tasa que el Findeter maneja para su línea de crédito de proyectos de infraestructura.

$$TEA = IPC + 3\%$$
$$TEA = 1.61\% + 3\% = 4.61\% \quad (67)$$

Reemplazando en la ecuación (66) se obtiene:

$$TNM = \left[\left[\left(1 + \frac{4.61}{100}\right)^{\frac{30}{360}}\right] - 1\right] * 100$$
$$TNM = 0.3762\% \quad (68)$$

Luego de esto es necesario encontrar el valor de los intereses con ayuda de la siguiente ecuación:

$$I = \left[\left[\left(1 + \frac{TNM}{100}\right)^{\frac{DA}{30}}\right] - 1\right] * K \quad (69)$$

Donde:

I: Valor del interés de la primera cuota

TNM: Tasa Nominal Mensual

DA: Días acumulados de cuota

K: Valor del capital

Reemplazando en la ecuación (69), se obtiene:

$$I = \left[\left[\left(1 + \frac{0.3762}{100}\right)^{\frac{30}{30}}\right] - 1\right] * \$640.423.169$$
$$I = \$2.409.790 \quad (70)$$

Después de hallar este valor se procede a calcular el valor de la cuota fija mensual:

$$C = K * \left[\frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1}\right] \tag{71}$$

Donde:

C: Valor de la cuota fija

K: Valor del capital

i: Tasa Nominal Mensual (TNM)

n: número de cuotas

Se reemplazan los valores en la ecuación (71):

$$C = \$640.423.169 * \left[\frac{(1+0.003762)^{180} * 0.003762}{(1+0.003762)^{180} - 1}\right]$$
$$C = \$4.904.227 \tag{72}$$

Finalmente se puede obtener el valor amortizado de la primera cuota:

$$AC = C - I$$
$$AC = \$4.904.227 - \$2.409.790 \tag{73}$$
$$AC = \$2.494.437$$

Donde:

AC: Amortización al capital

C: Valor de la cuota

I: Intereses primera cuota

Las ecuaciones (50) a la (57), fueron tomadas de [35].

En el Anexo I, la Tabla 24, es posible observar en detalle el plan de pagos y amortización mensual detallado que se hará a la entidad Findeter durante los 15 años de duración del crédito.

7.5. DISCUSIÓN COMPARATIVA

Teniendo en cuenta las características técnicas de las dos alternativas, es posible realizar la siguiente comparación:

Características técnicas alternativa convencional	Características técnicas alternativa solar fotovoltaica
Vida útil de los elementos críticos de la instalación superior a 20 años, excepto la luminaria.	La vida útil de los elementos críticos del sistema está alrededor de más de 20 años, sin embargo, la batería tiene una vida útil mucho menor que los demás dispositivos, de la misma manera que la luminaria.
Este tipo de sistema es más propenso a sufrir fallas de distintos orígenes a pesar de contar con protecciones asociadas al ser un subcircuito del sistema de distribución ya que según **[36]** los sistemas de distribución de energía se encuentran entre los Niveles 2 y 3 en Colombia y según **[37]** estos niveles de tensión fallan con una frecuencia promedio anual de 47,5 veces al año y 24 horas en el año.	Es menos susceptible a la ocurrencia de fallas de origen propio de la instalación ya que cada estructura está aislada de los demás al ser un sistema independiente.
El mantenimiento requiere de más personal, más equipos, más detalle y por lo tanto es más costoso.	Mantenimiento más sencillo y más barato ya que la atención al detalle es menor, por la tanto se requiere de menor personal y de menor tiempo y equipos.
No hay excedentes de energía.	Al existir excedentes de energía es posible inyectarlos en la red y obtener beneficios tributarios por parte del gobierno nacional, sin embargo, este aspecto no está dentro del alcance de este documento.

Tabla 21. Comparativa de características técnicas entre alternativas.
Elaboración propia

De la misma manera y observando los costos de inversión de ambas alternativas, es posible evidenciar que la alternativa de mayor costo es la solar fotovoltaica con un valor inicial de $640.423.169 COP, mientras que la alternativa convencional tiene un costo de $501.773.182.42 COP contemplando aspectos de operación y mantenimiento, que para un sistema fotovoltaico representa aproximadamente entre el 0,5% y el 1,5% de la inversión inicial [38], es decir, entre $3’202.115,845 y $9’606.347,54 anualmente, este valor incluye el costo del reemplazo de las baterías a lo largo de la duración del proyecto; mientras que para el sistema convencional está alrededor de $12,638,084.78 COP dado que debe incluirse el precio de la energía en kWh que para el caso fotovoltaico es mucho menor como se ve en la Tabla 22.

Además de tener estos valores en cuenta, también se debe considerar el hecho de que para una empresa que realice proyectos que involucren la generación, investigación o demás aspectos de las FNCER, tienen beneficios tributarios que otorga el gobierno mediante la Ley 1715 de 2014. Por otro lado, el beneficio económico que resulta de comparar el valor de 1 kWh producido convencionalmente con 1 kWh generado mediante la alternativa solar fotovoltaica. En la Tabla 22 se describe dicha comparación.

Garantía del kit FV (años)	Total, de kWh generados	Consumo anual del sistema (kW)	Costo de 1kWh de energía FV	Costo de 1 kWh de energía según Enel-Codensa	Beneficio en costo	Porcentaje de ahorro
25	5.338.125	567.000	$ 120	$ 541	$ 422	78%

Tabla 22. Comparativo precio del kWh.
Elaboración propia

Es importante resaltar que, para este caso de estudio puntual, el valor del costo de 1KWh de energía FV es de $120 y resulta del cociente entre el costo total del proyecto y el total de energía generada por la instalación en el tiempo de vida útil del sistema (25 años para este caso), sin embargo, según datos de la UPME, en desarrollo del proceso de adjudicación, la Comisión de Regulación de Energía y Gas estableció como tope máximo individual el precio de 200 $/kWh y como tope máximo promedio el precio de 160 $/kWh [39].

Otro aspecto importante a tener en cuenta a la hora de realizar una comparación entre estas dos alternativas es el ámbito ambiental. Actualmente y gracias a los esfuerzos de la UPME y el Ministerio de Minas y Energía, se tiene un valor consolidado y unificado del factor de emisión de Gases de Invernadero (GEI). Según datos de XM, en Colombia el factor de emisión de CO2 por el Sistema Interconectado Nacional (SIN) en términos de generación es de 164,38 gramos de CO2 por kWh [40], mientras que la energía solar fotovoltaica según datos de las Naciones Unidas, produce entre 25 y 32g/kWh de CO2 [41]. De esta manera es posible calcular la cantidad de gases de efecto invernadero que se podrían llegar a producir con una u otra alternativa, así:

$$0{,}035 * 12 * 365 * 0.16438 = 3779.92\ kg - CO_2 * año \quad (74)$$

$$0.15 * 150 * 4.5 * 365 * 0.032 = 1182.6\ kg - CO_2 * año \quad (75)$$

Siendo la ecuación (74) la cantidad de emisión de CO_2 por año para el sistema energizado con la alternativa convencional y la ecuación (75) para la alternativa fotovoltaica.

De esta manera es posible visualizar el beneficio ambiental, en cuanto a la huella de carbono se refiere, de usar energías alternativas para la generación de energía. De manera que la solución que entrega mejores oportunidades en cuanto a lo técnico, lo económico y lo ambiental, es la alternativa solar, si bien económicamente no lo parece, con los incentivos que se brindan en cuanto a la declaración de renta a empresas que realicen inversiones en estos proyectos e iniciativas, si es bastante conveniente.

8. NUEVAS TECNOLOGÍAS Y USO DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN ALUMBRADO PÚBLICO

En la sociedad actual, dos de las más grandes tendencias son la urbanización y el desarrollo sostenible. Las áreas urbanas continúan creciendo y los distritos o municipalidades se ven en la necesidad de proveer de soluciones técnicas a los requerimientos que conlleva dicho crecimiento, además de asegurarse de que dichas soluciones, en materia energética, sean lo más eficiente posible; siendo uno de los requerimientos más importantes el del alumbrado público [42].

El avance tecnológico por estos días, con respecto a los sistemas de alumbrado público y a hacerlos más eficientes, es bastante interesante, desde sistemas semiautomáticos hasta sistemas que integran IoT (Internet of Things), existe una gran variedad de alternativas que varían en los métodos utilizados para la solución a ciertos problemas puntuales de los sistemas de alumbrado público.

Existen diferentes proyectos en diferentes lugares del mundo en los que se ha investigado sobre la automatización para el alumbrado público y también se han producido artículos académicos que exploran diferentes terrenos tecnológicos con el fin de lograr lo mismo, la automatización de este servicio. Toman más relevancia estas investigaciones y proyectos cuando se presta atención a las cifras, por ejemplo, el 40% del consumo eléctrico en las ciudades es de alumbrado público [43] y también, hasta el año 2016 según cifras del Banco Mundial, este sector representa el 15% del consumo mundial y el 5% de las emisiones de CO_2 a la atmósfera [44]; claramente esto varía dependiendo del tamaño de las ciudades, sin embargo, no deja de ser una cifra preocupante y esto hace que buscar la eficiencia en términos de reducción de consumo y de producción de este ámbito sea de gran importancia.

La inteligencia artificial desde el punto de vista del procesamiento de imágenes, es de gran importancia para darle a los sistemas de iluminación pública la independencia y sostenibilidad que requieren, con sistemas que están basados en el reconocimiento de imágenes mediante cámaras y ayuda de sensores y elementos de comunicación y control para que estos sean capaces de reconocer los distintos objetos o elementos que se encuentren en la vía o donde se dispongan estos sistemas.

En los diferentes artículos científicos hay gran variedad de investigaciones y de métodos empleados con el fin de automatizar, mediante el procesamiento de imágenes, el sistema de iluminación pública.

Existen investigaciones a nivel mundial para mejorar la eficiencia en el alumbrado público tanto en términos de energía como de costos [42], pasando por el uso de software de programación gráfica a partir de señales sensorizadas [45] como LabView para conocer gráficamente el comportamiento de las distintas variables y adquirir estos datos en tiempo real, a implementación de nuevos procesos para controlar el sistema de iluminación y controlar remotamente las variables que lo componen como un sistema integrado [43] o simplemente controlar el nivel de brillo de las luminarias haciendo uso de microcontroladores y sensores IR y PIR [46],

Además, se han desarrollado estudios a partir de sensores, redes de comunicación y protocolo ZigBee para espacios cerrados y abiertos con el fin de hacer un uso más eficiente de la energía a partir de sensores de movimiento y demás herramientas como sensores IR y PIR [47], [48], [49]. En este campo Colombia también tiene un interesante estudio que se basa en el uso de IoT para llevar

a cabo la automatización de luminarias del centro histórico de la ciudad de Popayán aprovechando las redes WiFi existentes en la zona donde se plantea hacer el estudio [50]; de la misma manera en Ecuador se desarrolló una idea similar para, además de monitorear, controlar el sistema de alumbrado de la Casa Don Bosco en Guayaquil [51].

También existen investigaciones que se basan en redes neuronales para mejorar al máximo la eficiencia en los sistemas de alumbrado público, comparando métodos de predicción de cambio de tráfico con redes neuronales artificiales y mediante las cuales es posible realizar un ahorro de hasta el 50% de la energía [52].

8.1. EFICIENCIA DE LAS LUMINARIAS TIPO LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO

En términos de eficiencia y dejando de lado las posibles fuentes de alimentación de las instalaciones de alumbrado público, es evidente que estos sistemas son poco eficientes ya que muy pocos cuentan con la tecnología, (por ejemplo, LED), para gestionar los índices de eficiencia energética. En Colombia, cobra especial importancia la tecnología Light Emitting Diode o LED debido a que aún existe un gran porcentaje de la iluminación pública en el país que no ha migrado a esta tecnología, siendo este un aspecto básico en cuanto a la eficiencia energética y en la búsqueda de reducción de costos por consumo energético se refiere.

Para la organización United Nations Environment Program (UNEP), si se reemplazan todas las luminarias ineficientes a nivel mundial, podrían ahorrarse un estimado de 1044TWh anualmente que equivalen a 530MMt de CO2 y una reducción de $US120 billones en pagos de electricidad; la Ilustración 47 muestra el crecimiento de las luminarias LED en el mercado energético mundial.

En Colombia es evidente la descentralización de la población en los alrededores de las grandes ciudades; esta realidad implica un crecimiento en las redes de iluminación, sin embargo, esta afirmación no limita en importancia las consecuentes necesidades que nacen y se presentan a partir de este fenómeno. No solamente la instalación de nuevas redes de alumbrado público limita el problema de cubrir los requerimientos de las ciudades en constante crecimiento, también la actualización de los sistemas existentes los cuales, en muchos casos, aún cuentan con luminarias que son antiguas y que no ofrecen un buen rango de visibilidad para los ciudadanos.

Así, es de enorme importancia ahondar en la búsqueda de nuevas alternativas de eficiencia energética para las ciudades y sus alrededores en constante crecimiento, por este motivo las ciudades inteligentes son de gran relevancia en estos días, y particularmente hablando, el alumbrado público inteligente, ya que, teniendo en cuenta cifras de la UPME, en el año 2019 el consumo para el sector comercial y público en todo el país fue aproximadamente 13064 GWh (UPME U. d., 2020), y que, solo en Bogotá hasta el año 2015, según Enel Codensa, existían alrededor de 337.000 puntos luminosos en toda la ciudad. Dicho esto, una de las propuestas a tener en cuenta es el procesamiento de imágenes para la gestión óptima de energía eléctrica en el alumbrado público.

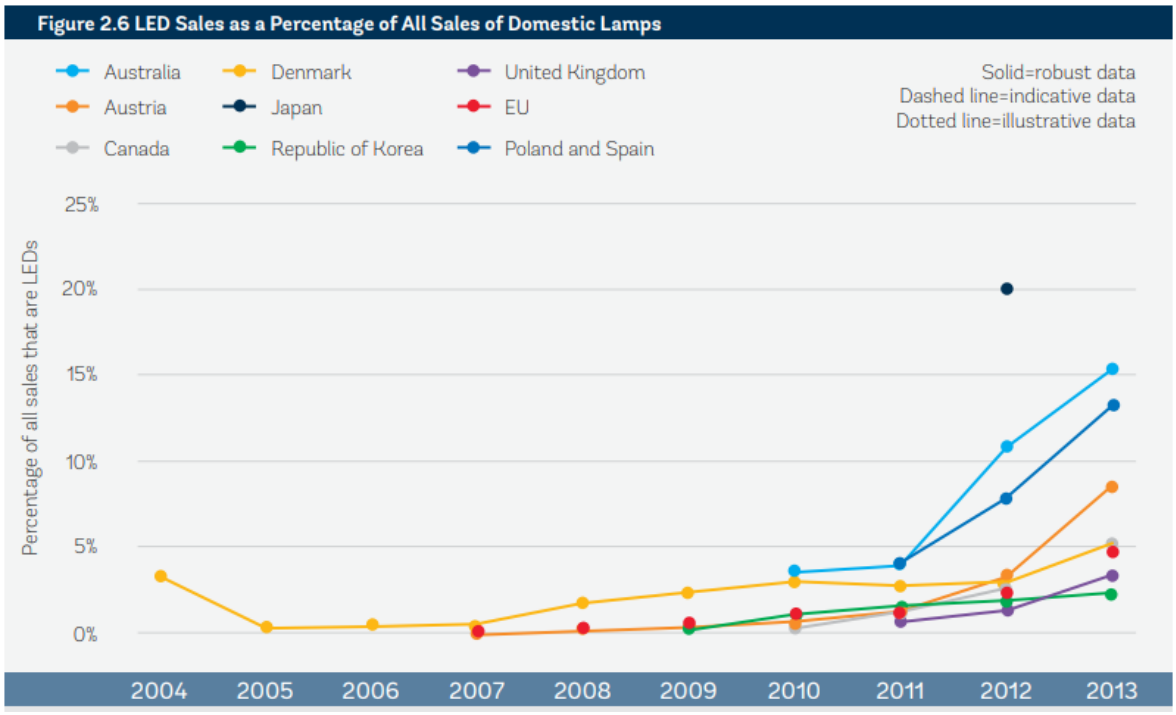


Ilustración 47. Participación de la tecnología LED en el mundo.
Tomado de: [53]

8.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y VISIÓN ARTIFICIAL

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar. La imagen pudo haber sido generada de muchas maneras, fotográficamente, electrónicamente, también, es posible realizar este procesamiento a través de métodos ópticos o por métodos digitales.

El procesamiento de imágenes ha sido ampliamente utilizado por la humanidad en áreas del conocimiento como cartografía y sistemas de información geográfica, astronomía, arqueología, microscopía, entre otras aplicaciones. Actualmente y con los avances tecnológicos que se han realizado en esta área sus aplicaciones pueden verse en la identificación e inspección de productos, determinación de objetos en el espacio, relaciones entre objetos para establecer la guía para robots, determinación de coordenadas, etc. [54].

En la actualidad los sistemas de reconocimiento de objetos se pueden clasificar en dos tipos: los que hacen uso de diferentes tipos de sensores como de proximidad, térmicos, infrarrojos, ópticos, entre otros y los que se basan exclusivamente en la utilización de cámaras, siendo estos últimos sistemas de visión artificial; también existen investigaciones en algunas universidades sobre la computarización de grandes centros de control, lo que es bastante efectivo para abarcar un área bastante grande, sin embargo, el sistema procesamiento de imágenes mediante el uso de cámaras están pensado para abarcar áreas más pequeñas.

Este sistema puede realizar un análisis en tiempo real, no obstante, esto requiere un alto nivel de calidad en el uso de software y hardware, lo que se complica teniendo en cuenta las limitaciones presupuestales y de conectividad de las diferentes poblaciones que están cerca a centros urbanos como Bogotá.

La visión artificial puede ser definida como un campo de la inteligencia artificial que, mediante el uso de las técnicas adecuadas, permite la obtención, el procesamiento y el análisis de cualquier tipo de información proveniente de imágenes digitales. Siendo su principal objetivo el simular la visión humana mediante el reconocimiento de niveles de color, formas y también de la interpretación y percepción automática del campo visual [54]

8.2.1. METODOS DE CAPTURA DE IMAGEN

Todo sistema de visión artificial sigue el proceso básico mostrado en la Ilustración 48 y para poder realizar este proceso necesita de dos factores que son imprescindibles [55].

- Sensor óptico para captar la imagen: cámara fotográfica, de video, digital, entre otras, agregando un conversor análogo digital cuando sea necesario.
- Un sistema computarizado que almacene las imágenes y que ejecute los algoritmos necesarios para el procesado, segmentación y descripción de las mismas.

Las imágenes son el insumo básico para llevar a cabo los procesos de visión artificial, es posible realizar la captura de estas mediante varios métodos, actualmente son utilizadas las llamadas cámaras digitales que capturan la imagen que se proyecta en un sensor para luego transferirla a un sistema electrónico. Las imágenes digitales se consideran como una cuadricula en donde cada elemento es llamado pixel, la resolución estándar de una imagen digital es 512x484 pixeles [54].

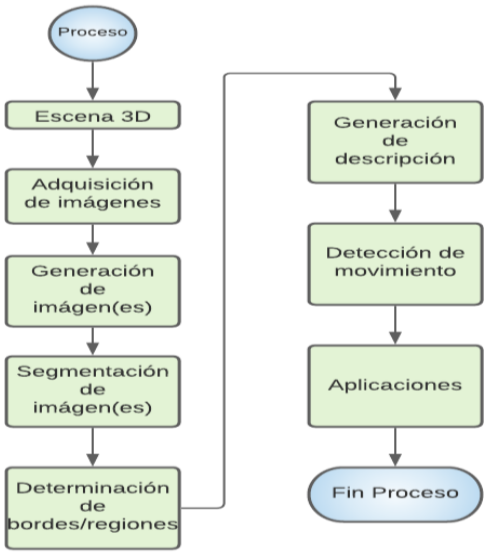


Ilustración 48. Proceso básico a seguir por un sistema de visión artificial.
Adaptado de: [55]

Las imágenes de entrada al proceso de visión artificial pueden ser de diferentes tipos.

- **Imágenes de intensidad:** Estas se encuentran ligadas estrechamente con el concepto de luminosidad, son aquellas que se adquieren a través de dispositivos ópticos que se basan en la captura de luz como son cámaras fotográficas y de video.
- **Imágenes de alcance:** Se fundamentan en los sensores de alcance óptico que utilizan algún fenómeno físico diferente a la luz para adquirir la imagen.

Se podrían también contemplar otro tipo de imágenes como las que producen las cámaras térmicas, entre otras, pero para hacerlo más simple, no importa el medio de la obtención de la imagen, después del proceso de captura, lo que se obtiene es una matriz en 2D de valores que como se mencionó previamente, es llamada imagen digital [55].

Cuando se habla de la tecnología del sensor, las cámaras digitales son clasificadas en.

- Cámaras de tubo: Son cámaras basadas en un material fotosensible que capta la imagen leída por un haz de electrones.
- Cámaras de estado sólido: Están basadas en materiales semiconductores fotosensibles que, para su lectura, no requieren un barrido electrónico y son mucho más pequeñas que las cámaras de tubo.

Un elemento muy importante por considerar en la captura de imágenes es la iluminación, esta sirve para controlar la forma en la que la cámara ve al objeto, es por esto que deberá ajustarse dependiendo del objeto a observar. Para definir la correcta iluminación se debe definir, por ejemplo, si el objeto es multicolor o monocromático, la velocidad a la que se mueve el objeto que se desea capturar, el campo de visión a iluminar, los reflejos que presentan los objetos, el fondo detrás del objeto, entre otros factores.

8.3. ANÁLISIS DE ARTÍCULOS DE REFERENCIA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El concepto de Smart Cities es viable para ciudades que están completamente interconectadas con modelos tecnológicos de comunicación lo suficientemente poderosos como para poder tener una unidad de procesamiento y control central o distribuida a lo largo de la ciudad, sin embargo, para el caso de poblaciones pequeñas y que no están lo suficientemente bien conectadas en términos de comunicaciones, se requieren de otro tipo de estrategias, por ejemplo, el uso de procesamiento de imágenes que es posible de aplicar en áreas más pequeñas.

8.3.1. ARTÍCULO I

En el primer estudio analizado se plantea un sistema de iluminación con un sistema de control que utiliza un algoritmo y procesamiento de imágenes para una población en la India, en donde existen aproximadamente 415,8 billones de puntos de iluminación vial. El procesamiento digital de imágenes es básicamente el análisis y la manipulación hechas a una entrada de imágenes de donde se obtienen diferentes atributos para la detección de objetos en ellas [56].

El sistema que se propone inicialmente para esta población en Bengala, no especificada en el documento, es basándose en un sistema de cámaras de CCTV (Circuito Cerrado de Televisión), instaladas en los puntos de verificación de tránsito, allí se obtienen las imágenes en video y se convierten en cuadros de imagen.

El sistema propuesto se describe en la Ilustración 49 y usa el procesamiento de imágenes para el control de las luminarias. Una cámara lo suficientemente poderosa es integrada al sistema de luces de tránsito el cual puede detectar la presencia de vehículos. Una vez la cámara detecta vehículos o peatones, incrementa el nivel de brillo de las luminarias y cuando no se detecta ningún objeto simplemente reduce su brillo o se mantiene dimerizado dicho brillo.

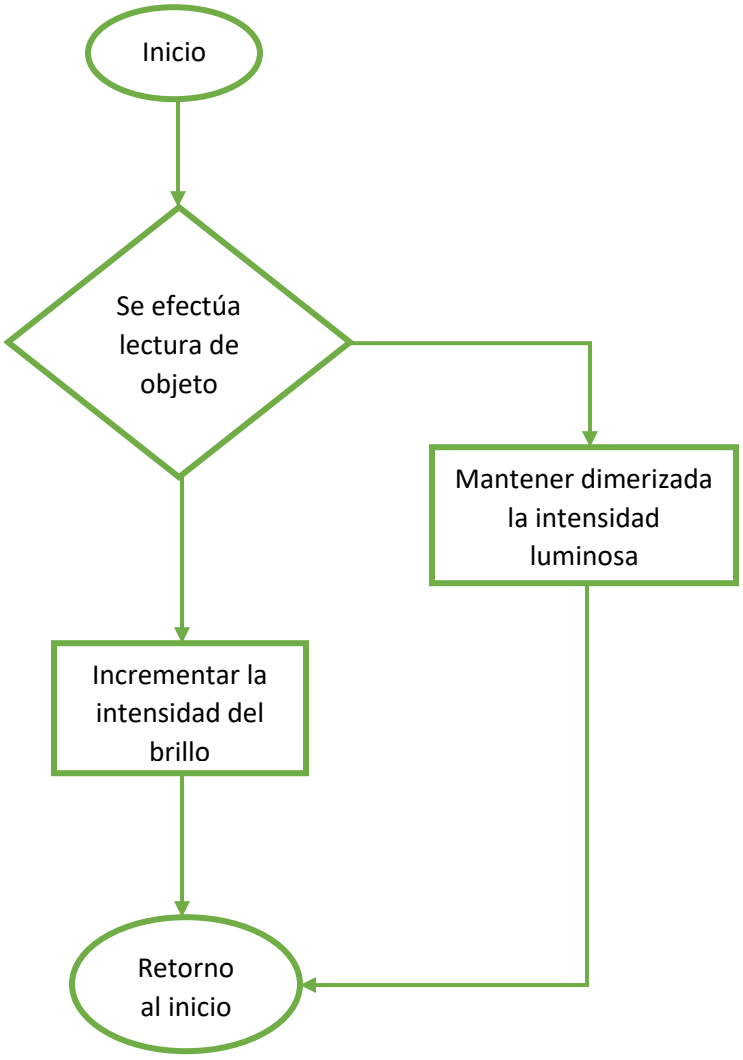


Ilustración 49. Diagrama de flujo básico de funcionamiento del sistema.
Adaptado de: [56]

En el sistema analizado, se propone analizar el valor del RGB (Red, Green, Blue) de los pixeles, esto es que cada pixel está compuesto por un valor de intensidad correspondiente a cada componente primaria, es decir que es un modelo que permite la representación de un color mediante la adición

de tres colores primarios: rojo, verde y azul. Se hace uso de 24 bits por pixel por estos tres colores primarios, esto provee 16 millones por cada imagen.

Si bien el sistema podría funcionar en sí mismo, es necesario plantear la posibilidad de que sea bidireccional, en el sentido en que debe considerarse la posibilidad que funcione en los dos sentidos de la vía y en los dos puntos de inicio y final del sistema ya que se da por sentado de que los objetos van a permanecer en un movimiento constante durante su trayecto en la vía, esto limita las posibilidades de iluminación en la vía ya que no se consideran elementos estáticos como personas o incluso animales que puedan aparecer a lo largo del sistema.

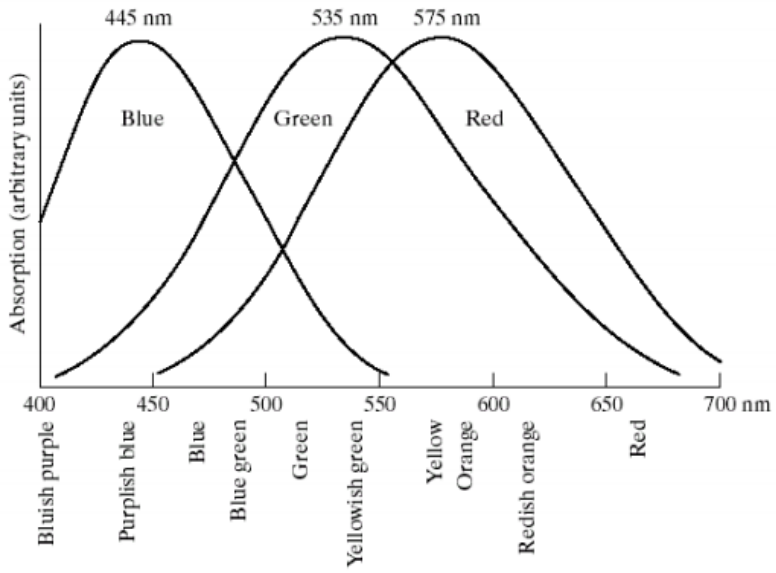


Ilustración 50. Modelo RGB de adición de colores primarios.
Tomado de: [57]

8.3.2. ARTÍCULO II

El segundo escenario plantea la posibilidad de instalar un sistema de reconocimiento y análisis de imágenes ubicando una cámara de red de alta resolución apuntando hacia la vía que está en estudio con el fin de poder reconocer los diferentes blackouts que puedan darse lugar en el sistema de iluminación. Una cámara de red puede describirse como una cámara con un sistema computarizado interno ya que sus componentes internos incluyen dispositivos ópticos, sensores de imagen, unidad de compresión y un sistema operativo capaz de conectarse con la red Web o FTP, además, puede conectarse sin necesidad de un computador ya que posee una dirección propia de IP lo que le permite enviar información (imágenes) a través de la red alambrada o inalámbrica e incluso fibra óptica [58].

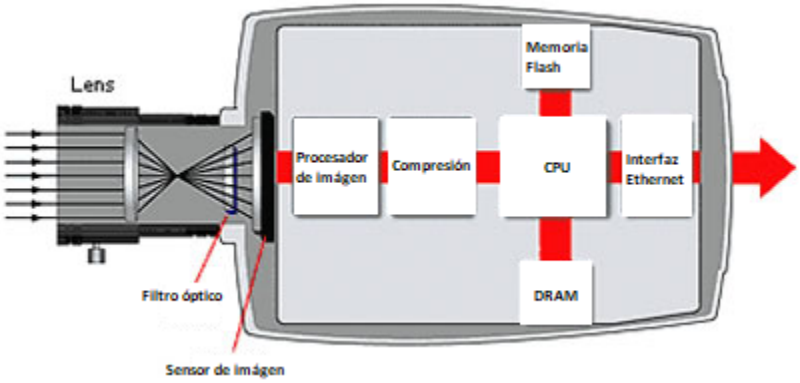


Ilustración 51. Componentes de una cámara de red.
Adaptado de: [59]

Es importante mencionar que la ubicación de la cámara debe ser de la misma altura de las luminarias que serán estudiadas, de lo contrario puede haber errores de procesamiento en las imágenes debido a los reflejos que se pueden producir por efecto de la luz. Las imágenes se escalan de acuerdo a la medida de los pixeles que las componen para finalmente exportar un archivo de imagen que incorpora propiedades de RGB que son analizadas mediante un algoritmo básico en la herramienta MATLAB, este procedimiento brinda un 54% de precisión en el análisis de imagen [58].

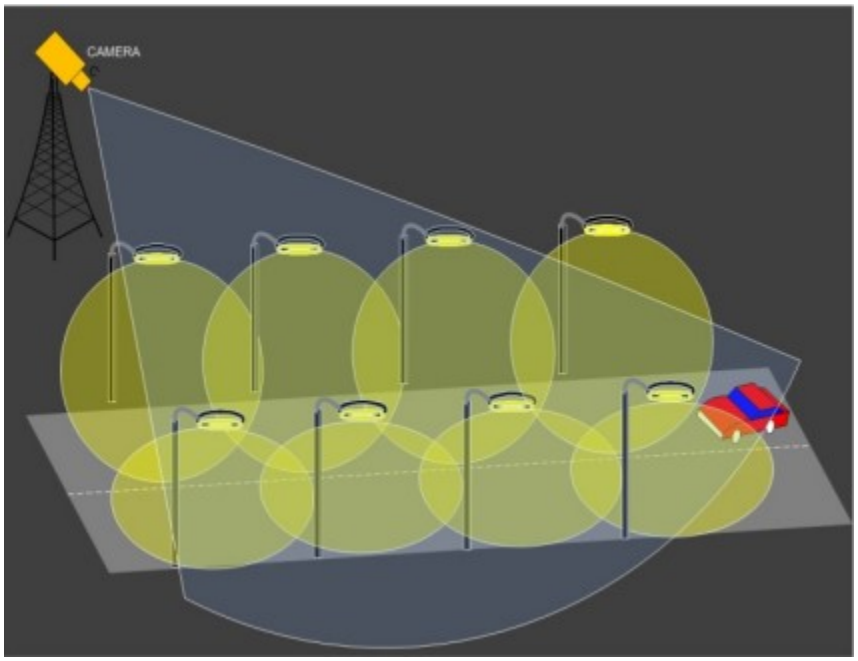


Ilustración 52. Sistema planteado para el control del sistema de iluminación en la ciudad de Semnan, Irán.
Tomado de: [58]

Una gran limitante de esta propuesta es que el análisis busca establecer los blackouts que se puedan presentar en el sistema lumínico que estudie, es decir, el sistema es completamente estático, no es posible analizar el movimiento de las fuentes luminosas, sin embargo, es posible realizar mediciones en las imágenes que obtenga la cámara, para esto sería necesario otorgar especial importancia a las

fuentes luminosas de menor tamaño que las luminarias presentes en la vía, establecer los movimientos de estas fuentes y también disponer de menor distancia entre la cámara y la vía.

8.3.3. ARTÍCULO III

En el tercer escenario se propone la realización de un Automatic Road Lighting System (ARLS), que pueda detectar la presencia o movimiento de vehículos en la vía y así poder encender o apagar las luminarias a partir de una cámara digital y un circuito electrónico de la misma manera que un algoritmo que es capaz de analizar las imágenes para convertirlas en pixeles, poderlas medir y así predecir el movimiento y la ubicación que tienen los vehículos bajo la cámara.

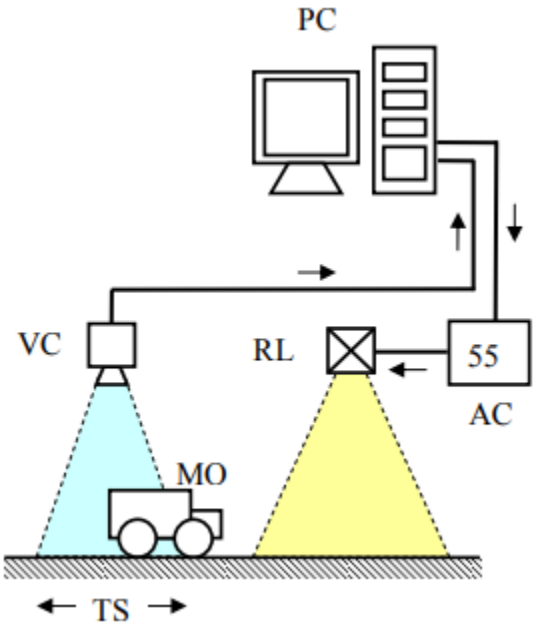


Ilustración 53. Descripción básica del funcionamiento del ARLS.
Tomado de: [60]

En la Ilustración 53 es posible evidenciar los componentes del modelo prototipo: PC unidad de procesamiento, para el caso del prototipo es un computador portátil, AC es un actuador NE555, que será el responsable de encender o apagar las luminarias, VC es la videocámara, MO es el objeto en movimiento, es decir, el vehículo, TS es el segmento de prueba, RL es la luminaria.

El funcionamiento del prototipo es el siguiente, lo que define el segmento de prueba son un par de líneas azules que la cámara será capaz de distinguir de los demás objetos presentes en la escena, estas líneas están presentes allí para que sea posible el escalamiento y la calibración de variables como velocidad y escala de distancia, entre otros. Una vez establecidos los parámetros se procede a crear el algoritmo para predecir el movimiento del objeto o móvil en el tramo mediante la sustracción de los objetos que están de más en la escena con respecto a la imagen de referencia.

Una de las limitaciones evidentes de este prototipo es que debe predecir el movimiento del vehículo o del móvil a lo largo de la vía con el fin de que, conforme avanza el vehículo y mediante el circuito

de temporización, se vayan encendiendo las luminarias en la vía. Uno de los principales resultados del estudio fue que conforme aumenta la velocidad del vehículo, menos nítida es la imagen que percibe cámara de video.

8.3.4. ARTÍCULO IV

El cuarto escenario plantea la combinación de un CVS (Computer Vision System) y un RTMS (Real – Time Monitoring System), haciendo uso de las herramientas LabVIEW y su extensión de visión artificial IMAQ Vision Builder. El estudio tiene como lugar geográfico el país de China ya que ha tenido un gran progreso en cuanto a la cantidad de empresas, alrededor de 20.000, que manufacturan luminarias de diferentes tipos y hace que tengan que asumir el reto de elevar la calidad en su producción. Dentro del propósito de la investigación y la propuesta está el mejorar los tiempos de producción e intentar limitar los propósitos del análisis de calidad a la inteligencia artificial mediante el procesamiento de imágenes más que a las capacidades humanas.

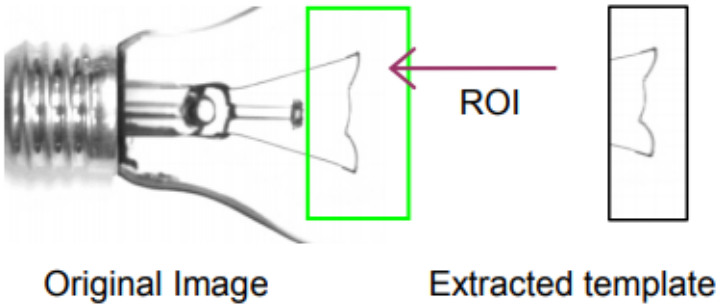


Ilustración 54. Representación ejemplar de la zona ROI.
Tomado de: [61]

Es importante aclarar que el estudio se realiza teniendo como base la producción de luminarias incandescentes, debido a que para el año en el que se realizó la investigación (2011), aún se producían y vendían una gran cantidad de estas luminarias alrededor del mundo. El objetivo de realizar el reconocimiento con un sistema de visión artificial es el de verificar que el filamento de las bombillas está en perfecto estado. Para ello es necesario adquirir una plantilla o "template" de una imagen de referencia y a partir de ella generar un ROI (Region of Interest), como se observa en la Ilustración 54, con el fin de que el sistema de visión artificial sea capaz de reconocer los patrones y así determinar el estado de las bombillas antes de su empaque.

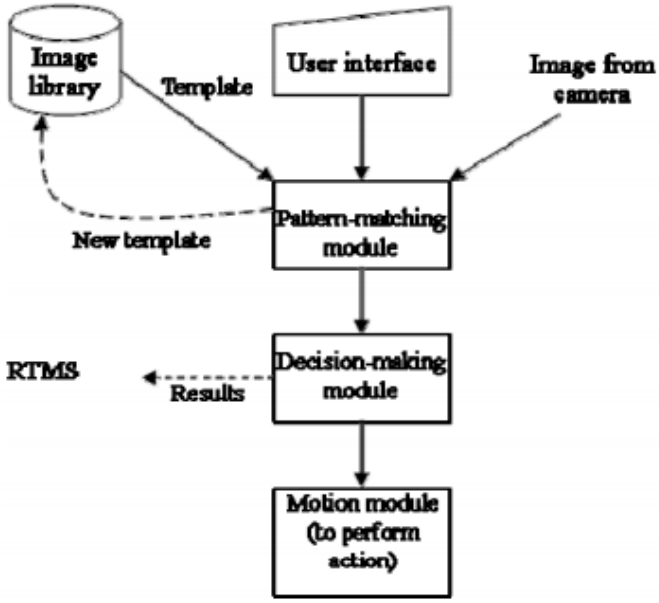


Ilustración 55. Arquitectura del sistema.
Tomado de: [61]

Uno de los principales inconvenientes con este escenario es que no va dirigido directamente al control de las luminarias en un contexto sistemático y como parte de un sistema de alumbrado público, sin embargo, es importante reconocer que la propuesta puede ser aplicable a un entorno más global, tomando como base su arquitectura y los elementos presentes en esta.

8.3.5. ARTÍCULO V

La disponibilidad cada vez mayor de cámaras de video de imágenes digitales de alta resolución y el abaratamiento de los costos de procesamiento automático de la información generada por esas cámaras por medio de sistemas de cómputo, han hecho posible que el uso de estas tecnologías sea cada vez más atractivo para la obtención de información de tráfico. Las imágenes pueden ser usadas para distintos propósitos como el conteo, la medición de la velocidad y la clasificación de los vehículos que circulen por una carretera [54].

El objetivo principal de este artículo fue identificar los posibles usos del procesamiento automático de imágenes en la Ingeniería de tráfico. A dicho procesamiento de imágenes también se le puede definir como “visión artificial”, el cual se puede ver como un campo de la inteligencia artificial y permite la obtención, el procesamiento y el análisis de cualquier tipo de información lograda a partir de imágenes digitales.

Existen muchos aspectos importantes a tener en cuenta para el correcto funcionamiento de un sistema de visión artificial, uno de ellos es la iluminación. Para establecer si existe una iluminación correcta, se debe considerar: si el objeto es multicolor o monocromático, la velocidad de movimiento del objeto, el campo de visión por iluminar, si alguna de las superficies del objeto presenta reflejos, el fondo detrás del objeto y qué característica principal se desea observar.

Con el avance de la tecnología y el surgimiento de equipos cada vez más potentes, el procesamiento de la información generada con la captura de imágenes es cada vez más rápido. Si se analiza desde el escenario donde se tienen automóviles que circulan en una vialidad, el rápido proceso de dicha información puede ayudar a obtener respuestas más prontas y más seguras.

En el caso particular de la Ingeniería de tráfico, es de gran interés conocer las características del comportamiento de los vehículos en vialidades; como pueden ser carreteras, arterias, avenidas o calles secundarias, intersecciones, peajes, estacionamientos y zonas de carga y descarga. De esta manera, el uso de un sistema de procesamiento automático de imágenes puede ser de gran utilidad para capturar información de las condiciones de operación de una red vial.

Entre las variables que pueden determinarse mediante el análisis de las imágenes de una vialidad están el número de vehículos que por unidad de tiempo circulan por ella. Tras definir el número de vehículos nuevos que aparecen en una serie de imágenes en un cierto tiempo, se puede conocer el flujo en esa carretera. La velocidad puede determinarse estableciendo dos puntos de control en la imagen a una distancia conocida, y sabiendo cuánto tiempo toma a los vehículos ir de un punto de control a otro [54].

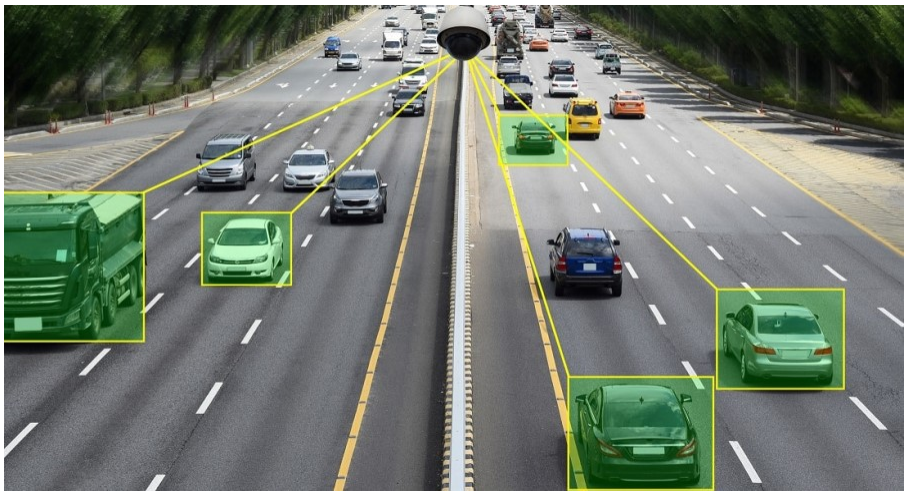


Ilustración 56. Aplicación de cámaras en la ingeniería de tráfico.
Tomado de: Google imágenes.

Las múltiples aplicaciones del procesamiento automático de imágenes la hacen una herramienta por considerar, en distintos procesos tanto científicos como industriales o de operaciones. Sin embargo, debe tomarse en cuenta las limitaciones de este tipo de herramientas, particularmente en ambientes en donde la iluminación no es la más adecuada. La Ingeniería de tráfico puede verse beneficiada por el uso de este tipo de herramientas y algunas otras todavía más elaboradas como son el uso de imágenes térmicas. Los múltiples ejemplos de aplicación presentados muestran el amplio campo de aplicación de este tipo de tecnologías.

8.3.6. ARTÍCULO VI

En este artículo se hace una introducción a diferentes conceptos y metodologías utilizadas en la construcción de sistemas de visión artificial para el reconocimiento de patrones. El objetivo de este tipo de sistemas es el de obtener información de interés, que se pueda interpretar, a partir de un

complejo procesamiento de imágenes obtenidas por medio de dispositivos ópticos. Cualquiera sea el objeto que se desea identificar, la precisión de las aplicaciones y la calidad de los resultados dependerán: del nivel de conocimiento que se tenga acerca del objeto de estudio, la resolución de los dispositivos con los que se obtienen las imágenes y la capacidad de procesamiento de los equipos en que se ejecutan las aplicaciones [55].

El objetivo en este artículo es determinar todos aquellos procesos y técnicas de procesamiento de imágenes, necesarios para el buen desarrollo de un sistema de visión artificial e inteligente destinado a la detección y conteo de objetos en movimiento, en especial de personas. Dichos sistemas inteligentes buscan reconocer, analizar y entender la escena capturada y todos sus componentes, con base a una o más imágenes bidimensionales.

Entre las generalidades que se quieren lograr con dicho sistema se encuentran: la detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos elementos dentro de las imágenes; en este caso particular, se centra en reconocer y contar el número de personas en movimiento. A continuación, se describen las técnicas que son utilizadas para satisfacer las necesidades de este tipo de sistemas:

- Substracción del fondo *(background subtraction)*: La substracción de fondo es la técnica utilizada para la detección de los objetos en movimiento, cuya aplicación consiste en comparar cada uno de los *frames* (cada una de las imágenes que componen un video) de una secuencia de imágenes con el *frame* inicial u otro que se escoja a conveniencia, de tal forma que, en el video resultante, los elementos que permanezcan constantes se vean de color negro, y los que han cambiado, de blanco o viceversa.

- Análisis de manchas *(blob analysis)*: El análisis de las manchas primero requiere la separación del objeto del fondo. Usando una imagen digital binarizada (solo píxeles totalmente blancos o totalmente negros), se agrupan los píxeles del objeto para formar un patrón. La geometría de este patrón se utiliza, entonces, para identificar el objeto, localizarlo y examinarlo. Este es un método simple, rápido y capaz de manejar cambios de rotación y tamaño. En cuanto al seguimiento a las manchas, los objetos físicos generalmente presentan un movimiento suave a lo largo del tiempo, como consecuencia de la inercia. El seguimiento visual de objetos se basa fundamentalmente en esta consideración. Un factor clave para conseguir que un computador pueda seguir la posición de los objetos en movimiento, es la posibilidad de anticipar este movimiento a partir de su caracterización previa [55].

Por otra parte, cabe resaltar la importancia de la posición o ángulo desde el cual se analice el elemento en movimiento para este sistema, como se puede observar en la Ilustración 57 se tienen dos vehículos captados desde 3 diferentes ángulos, para una computadora sería más sencillo procesar la información en las vistas (a) y (c) ya que podría definir que se trata de dos objetos por separado, cosa que no ocurriría en la vista (b) puesto que haría necesaria la implementación de un tipo de reconocimiento que pueda intuir la presencia de un objeto a partir de partes de su estructura, lo que implicaría un mayor consumo de recursos y el uso de técnicas de inteligencia artificial mucho más avanzadas.

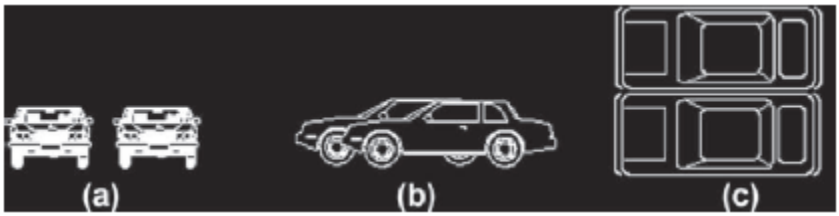


Ilustración 57. Automóviles captados desde diferentes ángulos.
Tomado de: [55]

Los elementos que se quieren analizar dentro de la imagen pueden generar diferentes siluetas, como ya se mencionó, esto dependiendo de la posición de la cámara. En la Ilustración 58 es posible comparar nuevamente la forma en que se ven varios tipos de vehículos desde diferentes posiciones. Para este caso el objetivo es el de estandarizar el área que ocupan los objetos de interés dentro de la imagen y así facilitar su reconocimiento. Para este tipo de análisis se requiere un conocimiento amplio de la morfología de todos los elementos de interés, que permita realizar las abstracciones necesarias para facilitar su posterior identificación.

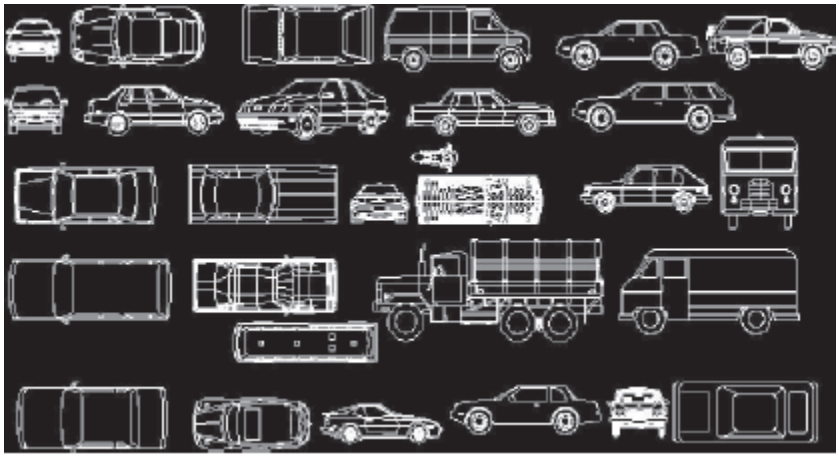


Ilustración 58. Ejemplo de variación del tamaño de los vehículos dependiendo del ángulo en el que se observen.
Tomado de: [55]

En resumidas cuentas, un sistema de visión artificial para el conteo de objetos, podría parametrizarse, de diferentes maneras, para que en la etapa de descripción se reconozca un elemento en especial. En este artículo, las pruebas se realizaron con personas, pero como se describió con el ejemplo de los automóviles, las posibilidades son muy variadas en cuanto a los campos de acción y los diferentes ambientes en que se use. Dicho esto, se puede decir que este principio de reconocimiento de objetos se puede aplicar al sistema de alumbrado público objeto de estudio en este documento, de tal modo que se complemente con un sistema inteligente capaz de reconocer en qué momentos debe encenderse y en qué momentos no debe, para así lograr generar una eficiencia energética notable.

8.4. DISCUSIÓN

¿Qué tan conveniente es la utilización de un sistema de visión artificial en el alumbrado público? Dentro del desarrollo de la investigación acerca de sistemas de visión artificial mediante procesamiento de imágenes realizada en este documento, se indagó sobre diferentes escenarios de aplicación de estas tecnologías, como prototipos, estudios e investigaciones alrededor del mundo.

Cada uno de estos diferentes estudios e investigaciones muestra interesantes enfoques desde su corriente investigativa en lo que tiene que ver con el procesamiento de imágenes, todo esto para avanzar en la búsqueda de ciudades más inteligentes y a su vez más eficientes; desde el uso de tecnologías LED, redes inalámbricas de comunicaciones hasta centros de gestión de información, entre otros, en conjunto todas estas herramientas buscan lograr el objetivo antes mencionado.

En lo que tiene que ver con la revisión de los diferentes escenarios, que contemplan el uso de procesamiento de imágenes, consultados alrededor del mundo es necesario precisar que estos tienen un margen de tiempo en cuanto a su producción que abarca desde el año 2010 hasta el año 2019. Si bien es evidente el incremento de estas investigaciones con el pasar de los años a nivel mundial, no deja de ser notable el hecho de que este tipo de producciones es mucho menor comparado con otros trabajos que se centran en el uso de otro tipo de tecnologías (sensores IR, PIR, redes ZigBee, redes neuronales, etc.). Es posible asumir que esto sucede debido a que las Smart Cities actualmente tienen un gran auge ya que se busca que las grandes ciudades sean más eficientes y por eso se hace uso de los otros tipos de tecnologías, mientras que para lugares más pequeños puede llegar a ser más viable el uso de procesamiento de imágenes.

Uno de los inconvenientes que puede presentar el llevar a cabo un sistema inteligente usando el método de procesamiento de imágenes, es no poder tener una estrategia óptima que tenga en cuenta todos los posibles escenarios en los que se pueda aplicar el sistema. Para el caso de estudio de este trabajo una de las grandes limitantes es que la vía donde se ubica el sistema de alumbrado público, cuenta con vías anexas a lo largo de todo su tramo que comunican con propiedades públicas y privadas y otras que a su vez conectan con otras vías; esto obligaría a disponer de muchos más elementos de obtención de datos mediante la captura de imágenes (cámaras).

En el contexto nacional una de las grandes limitantes para instalar, no solo para este sistema de procesamiento de imágenes, sino también para todos los otros tipos de sistemas inteligentes es la inseguridad existente por el alto valor monetario que representan todos los elementos que componen este tipo de sistemas.

Para la vía objeto de análisis en este documento es muy recomendable el uso de las tecnologías que utilizan el método de procesamiento de imágenes para el control y automatización del sistema de alumbrado público, ya que como se mencionó previamente este tipo de sistemas es muy recomendable para locaciones pequeñas. También es importante resaltar que el principal objetivo de la utilización de este sistema inteligente es lograr una eficiencia energética mediante el uso controlado de la energía eléctrica que va a ser suministrada a todo el sistema de iluminación, además de esto el empleo de las energías renovables para alimentar este sistema es de gran importancia, ya que reduce notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan

la atmósfera. De esta manera no solamente sería eficiente energéticamente hablando sino también ambientalmente, haciendo de este un sistema sostenible y más amigable con el ecosistema.

8.5. PROPUESTA PARA COMPLEMENTACIÓN DE DISEÑO

Una vez analizada toda la información recolectada acerca de estas tecnologías, que utilizan el método de procesamiento de imágenes para la automatización de un sistema de alumbrado público, es posible plantear una propuesta que se pueda aplicar al sistema objeto de estudio. También es importante resaltar que para el caso de la logística del tráfico es vital conocer el comportamiento de los vehículos en vialidades como lo son carreteras principales, vías arterias, avenidas o calles secundarias, en este sentido un sistema de visión artificial puede resultar muy útil para capturar información de las condiciones de operación en esta red vial.

Inicialmente se propone dividir el uso de las luminarias en el horario nocturno, en tres franjas horarias debido al cambio en el nivel de tráfico a lo largo de la noche. Estas franjas horarias quedarían dispuestas como se ve en la Tabla 23. Al dividirse de esta manera las doce horas de funcionamiento del sistema de iluminación, es posible delimitar el uso de la visión artificial a únicamente cuatro horas de la noche, es decir, en la franja horaria que va desde las 10pm a las 4am, debido al bajo nivel de tráfico que transita por la vía durante ese periodo de horas.

Franja horaria	**Nivel de tráfico**
6pm – 10pm	Medio - Alto
10pm – 4am	Bajo – Muy bajo
4am – 6am	Medio - Alto

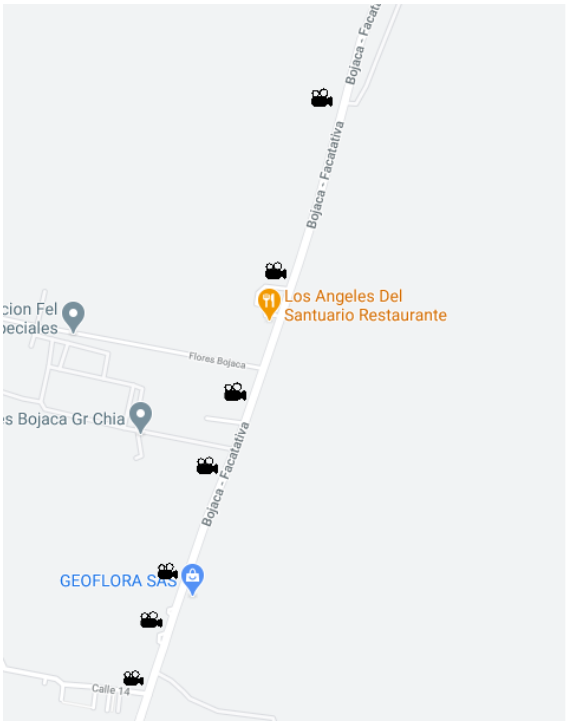
Tabla 23. Franjas horarias según nivel de tráfico.
Elaboración propia.

El sistema de visión que se propone utilizaría los recursos de varios de los artículos de investigación mencionados en la sección anterior. El Articulo II se basa en el control de las luminarias de una fracción de la vía mediante la instalación de una cámara que está alejada de esta y que mide la intensidad de brillo de las fuentes de luz en pixeles; esto mismo puede ser utilizado en la vía que es objeto de estudio en este documento, pero sin utilizar la medición del brillo sino únicamente la ventaja que otorga su posicionamiento. Para ello se propone instalar cámaras a lo largo de la vía, debido a que existen aproximadamente 17 vías anexas a la principal, es necesario instalar cámaras en cada una de estas intersecciones con el fin de que exista la menor cantidad de puntos ciegos en el sistema.

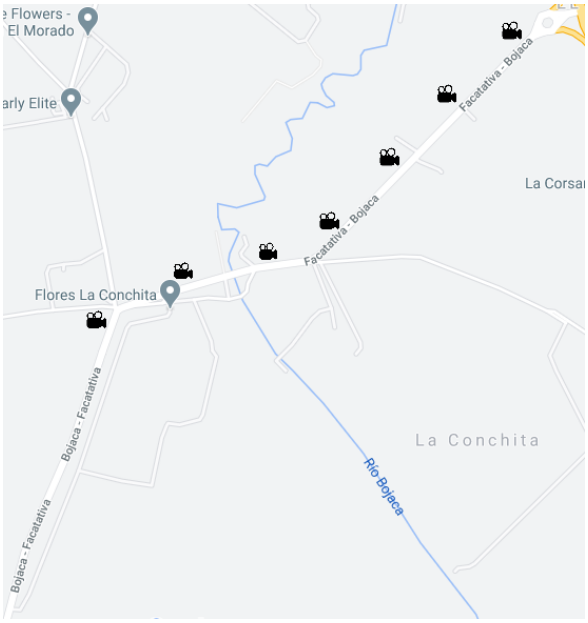
El artículo III menciona la realización de un prototipo que, utilizando una cámara posicionada justo sobre la vía que es capaz de reconocer un par de marcas en el suelo como referencia, puede, mediante la temporización de las luminarias, medir la velocidad del objeto que circula por ese tramo de la vía y así encender las luces de la carretera.

Dicho esto, es posible utilizar las herramientas que estas dos investigaciones proponen, de la siguiente manera: Debido a las ramificaciones que existen en la vía, se plantea disponer en cada una de ellas una cámara que sea capaz de reconocer dos marcas en el pavimento de la carretera para

que sirvan de guía y de esta manera poder conocer si existe paso o no de vehículos o peatones y el sentido que tienen al pasar por estas secciones marcadas para que el sistema encienda o no las luminarias.



(a)



(b)

Ilustración 59. Propuesta de ubicación de las cámaras en la vía objeto de estudio; (a) tramo más cerca a Bojacá y (b) tramo más cerca a El Corzo.

Elaboración propia.

En el artículo VI se cuenta con un sistema de reconocimiento de elementos mediante el uso de procesamiento de imágenes, más precisamente el reconocimiento de personas en un espacio determinado para su posterior conteo. De esta producción se puede aprovechar este principio de reconocimiento inteligente para el sistema propuesto, ya que la iluminación se encendería si y solo si el elemento detectado es un ser humano y/o cualquier tipo de vehículo (bicicleta, motocicleta, automóvil, bus, camión, etc.), por consecuente no se encendería si las cámaras detectan, por ejemplo: un animal.

Este sistema tiene como principio de funcionamiento, primero, diferenciar el fondo de la escena de los objetos que se encuentran en movimiento mediante una substracción del fondo (*background subtraction*); posteriormente, distinguir si lo detectado corresponde a algún tipo de forma de las que se quiere reconocer mediante un análisis de manchas (*blob analysis*), el cual con ayuda de imágenes binarizadas en conjunto de un algoritmo completo llevarían al correcto funcionamiento de este sistema inteligente y por ende del alumbrado público.

De esta manera, el sistema operaría así: las cámaras estarían ubicadas a una distancia prudente de las ramificaciones de la vía principal y también al inicio y al final del tramo objeto de estudio de este documento, estas cámaras al detectar el paso de cualquier tipo de vehículo o peatón sobre las marcas de referencia y luego de conocer su velocidad y dirección, iniciarían un conteo de temporización de encendido de las luminarias, es decir, a menos que se detecte otro objeto, ya sea vehículo o peatón, las luminarias van a ir encendiéndose paulatinamente conforme el objeto avanza iluminando así, únicamente la sección que necesite ser iluminada mientras el vehículo o persona transita por el tramo.

Algunos aspectos técnicos importantes dentro de la conformación del sistema son los medios de comunicación entre dispositivos y las cámaras. El medio de comunicación será inalámbrico, por tal motivo se hará uso de las conocidas redes ZigBee la cual es un estándar que define un conjunto de protocolos para el armado de redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos [62]. Generalmente opera en las bandas 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz y puede transferir datos hasta 250 Kbps, para esta función serán bastante útiles ya que algunas de sus especificaciones son las siguientes:

- Bajo consumo, permite usar equipos a batería
- Alcance de 50m o menor, generalmente
- Bajo costo de dispositivos, instalación y mantenimiento de los mismos

y las cámaras serán del tipo IP, que son generalmente utilizadas para los circuitos cerrados de televisión (CCTV). Son dispositivos encargados de captar y transmitir una señal de video/audio digital a través de una red IP estándar a otros dispositivos de red como por ejemplo un PC, un NVR o incluso un SmartPhone. Mediante una dirección IP, un servidor y unos protocolos definidos, los usuarios que estén autorizados pueden visualizar, almacenar y gestionar de forma local o remota y en tiempo real el streaming de video, en donde haya cobertura de red. La mayoría de las cámaras IP vienen equipadas con una CPU y con una tarjeta SD que es capaz de guardar los videos que la cámara registra [63].

Es importante mencionar que las cámaras funcionarán también con alimentación mediante paneles solares, es necesario mencionarlo ya que la alimentación no será mediante la red de distribución,

principalmente debido a que será corto el tiempo que las cámaras estarán operando en la noche, lo cual resulta positivo teniendo en cuenta la independencia que se quiere lograr de todo el sistema.

Para garantizar que esto se cumpla es necesario plantear un escenario en el cual exista un centro de control, para que sea el encargado de administrar el programa y el encargado de distribuir las instrucciones a las diferentes luminarias, según sea el caso. Por este motivo se plantea el siguiente proceso básico que contempla los posibles casos a los que se podría ver expuesto el sistema propuesto, la Ilustración 61 muestra el diagrama de flujo sugerido, es importante recalcar que este proceso tiene en cuenta únicamente el principio de funcionamiento individual de una sola cámara dentro del sistema.

De la misma manera es necesario establecer, en un diagrama de bloques, los procesos que van a interactuar entre sí, por ejemplo, el tipo de red inalámbrica que se va a utilizar y el proceso que va a seguir conforme las cámaras realizan la captura de imágenes. La Ilustración 60 muestra el diagrama de bloques propuesto para este propósito.

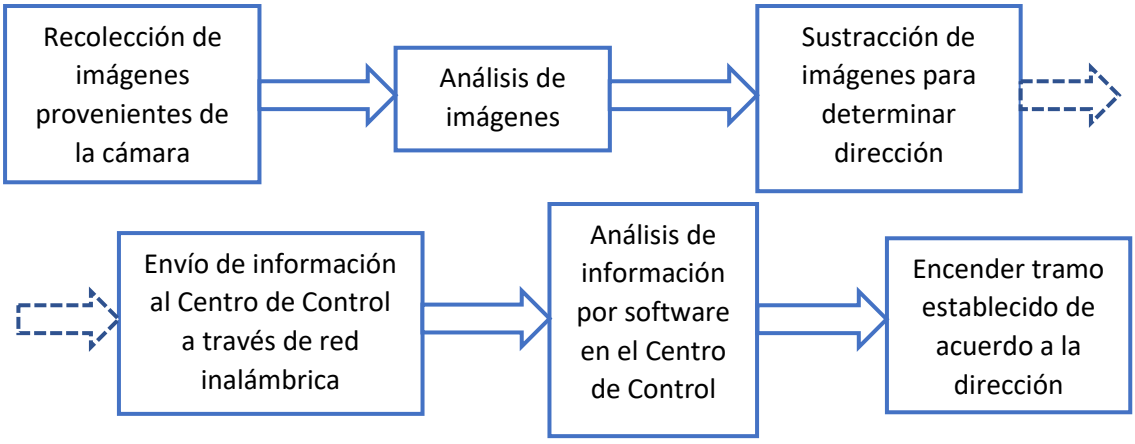


Ilustración 60. Diagrama de bloques del sistema de cámaras.
Elaboración propia

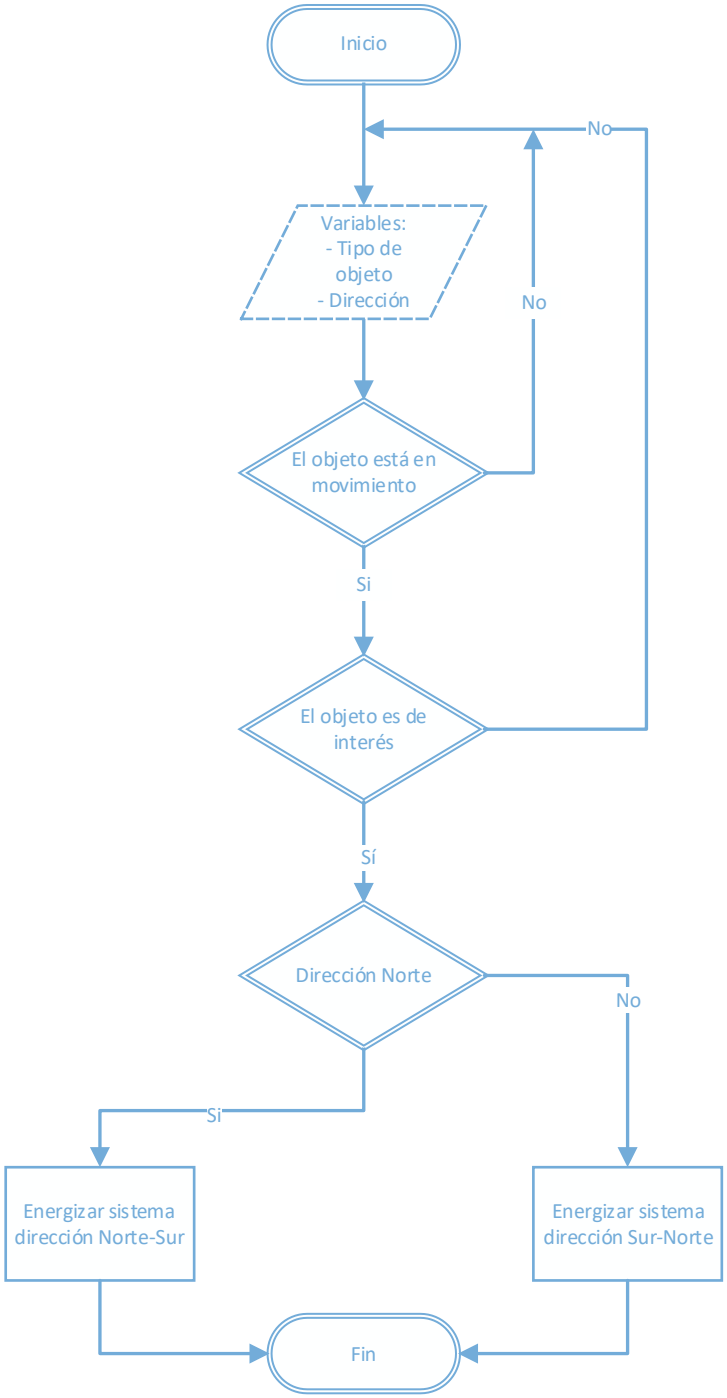


Ilustración 61. Diagrama de flujo de proceso que cumpliría cada cámara.
Elaboración propia

9. CONCLUSIONES

Las redes de distribución locales son una gran opción para energizar la instalación del alumbrado público en la vía que fue objeto de estudio de este documento, para la realización del estudio técnico que contempla esta alternativa convencional se utilizaron normativas vigentes en el país: tanto regionales como nacionales (RETIE, RETILAP, likinormas, NTC 2050, entre otras) y datos recolectados mediante consulta e investigación en sitio, ya que no se contó con una respuesta positiva por parte del operador de red de la zona (Enel – Codensa) quienes presentaron una justificación de reserva, ya que implicaba dar a conocer información sensible sobre los activos de la empresa. Dicho esto, los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que datos como: la regulación de tensión, el consumo de potencia, el dimensionamiento del transformador, entre otros estuvieron dentro de los requerimientos planteados en las normas anteriormente nombradas.

El desarrollo del estudio técnico basado en fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER), de la misma manera que en la alternativa convencional, se realizó con ayuda de normativa vigente (Resoluciones CREG) y con la ayuda de software de simulación (PVSystem) para así lograr obtener resultados lo más cercanos posible al comportamiento de este tipo de generación mediante la radiación solar existente en el sitio de estudio, y cómo afectan a la misma la presencia de sombras producidas por objetos a lo largo de la vía. Dichos resultados comprueban que es posible llevar a cabo un proyecto de alumbrado público alimentado por un sistema aislado de paneles fotovoltaicos, ya que según los cálculos realizados se cumple con los requerimientos mínimos para un óptimo funcionamiento de la instalación.

Los resultados obtenidos en la etapa del estudio económico muestran que, si se tiene en cuenta la inversión inicial a precio del día de hoy, la alternativa convencional aprovechando la red de distribución resultaría siendo la más económica ya que está por debajo y con una notable diferencia, de la alternativa fotovoltaica. Sin embargo, es importante aclarar que a largo plazo sería más rentable la opción renovable ya que la inversión en este tipo de proyectos está respaldada por el gobierno nacional mediante leyes como la 1715 de 2014, otorgando beneficios tributarios a quien desarrolle este tipo de obras.

Además de esta ventaja económica, existen otros beneficios que proporciona el uso de energías renovables, en este caso la energía solar, como lo es la notable reducción en la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, en comparación con sistemas que utilizan generación de energía eléctrica convencional.

Durante el desarrollo de este documento fue posible evidenciar lo complejo que resulta la obtención de información económica detallada por parte de organismos públicos, ya que no se cuenta con la claridad suficiente en lo relacionado con descuentos, tarifas, entre otros. De la misma manera resultó tedioso el proceso de encontrar precios de mercado actualizados de varios de los elementos eléctricos y de obra civil que componen este tipo de proyectos.

Como resultado de la indagación realizada con respecto al uso de la Inteligencia Artificial mediante procesamiento de imágenes en el alumbrado público fue posible evidenciar las ventajas que conlleva el uso de estas herramientas combinadas con el uso de fuentes de energía renovable (como en el caso de este documento, energía solar fotovoltaica), para efectos de eficiencia energética

reduciendo su consumo de manera considerable y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar de que existen muchas ventajas en la implementación de estos sistemas inteligentes, también es necesario considerar las limitaciones propias de las herramientas que conforman estas tecnologías, una de ellas puede ser el alto costo que tienen algunos de estos dispositivos en el mercado, ya que es necesario que la tecnología utilizada sea de muy alta calidad para no poner en riesgo la vida de los transeúntes.

10. RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista investigativo, es posible ampliar la búsqueda de nuevas tecnologías en la automatización del alumbrado público, para lograr integrar nuevas soluciones o propuestas a los sistemas que existen actualmente sin incurrir en grandes costos de inversión y buscando siempre la eficiencia energética.

La propuesta realizada para complementar el diseño del sistema de iluminación puede contemplar, justamente, la investigación de otros prototipos y otros avances dentro del campo de la automatización, para que de esta manera se pueda llegar a una solución lo suficientemente robusta y confiable no solo para el caso estudiado en este documento sino también para que sea posible realizar una generalización de este tipo de propuestas para que puedan aplicarse a diferentes entornos.

Siendo el alumbrado público un enfoque muy importante dentro de toda la estructura que contempla el estudio de la energía eléctrica no solo a nivel nacional sino a nivel mundial, es importante mencionar la invitación a que se produzcan investigaciones que busquen la eficiencia en este campo en nuestro país, ya que es un campo poco explorado en el territorio nacional y puede ser un gran beneficio para la ciudadanía y el medio ambiente.

El ajuste de algunos elementos de este documento pueden dar como resultado un proceso mediante el cual sea posible solicitar a las entidades territoriales el estudio de esta propuesta que, aunque no está dentro de los alcances de este proyecto, es importante mencionar, ya que además de la parte académica, que nunca dejará de ser importante, es necesaria la inversión en este tipo de proyectos que benefician la vida diaria de pobladores de municipios como el que es objeto de estudio en este documento.

11. REFERENCIAS

[1] S. L. Arias, ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO, Bogotá: Universidad Nacional, 2015.

[2] Ministerio de Minas y Energía, «Interpretación sección 120.1 definiciones,» Bogotá, 2016.

[3] Ministerio de Minas y Energía, «Reglamento Ténico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP,» Superintendencia Industria y Comercio, Bogotá, 2010.

[4] UPME, «¡INVIERTA Y GANE CON ENERGÍA! Talleres de Incentivos Tributarios de la Ley 1715 de 2014. Unidad de Planeación Mineroenergética. Programa de Energía Limpia para Colombia de USAID,» UPME, Bogota, 2016.

[5] D. B. Santos, «Introducción a la Energía Fotovoltaica,» [En línea]. Available: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf.

[6] D. A. Arenas Sanchez y H. S. Zapata Castaño, LIBRO INTERACTIVO SOBRE ENERGIA SOLAR Y SUS APLICACIONES, Pereira: UTP, 2011.

[7] O. P. Lamigueiro, ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica, Madrid: Creative Commons, 2018.

[8] Eficiency For Energy, 7 Abril 2020. [En línea]. Available: https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/angulo-de-incidencia-e-irradiacion-solar-claves-para-generar-electricidad.

[9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 2050, Bogotá: ICONTEC, 1998.

[10] J. F. Ferichola, Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil, Madrid: Universidad Carlos III, 2016.

[Electricaplicada, «Cuál es el mejor tipo de panel solar - Mono/Polycrystalline/Thin Filme,» 12
11 Diciembre 2020. [En línea]. Available: https://www.electricaplicada.com/cual-es-el-mejor-tipo-
1 de-panel-solar-mono-polycrystalline-thin-film/.
]

[SUNFIELDS Europe, «Usos, aplicaciones y tipos de placas solares,» 2018. [En línea]. Available:
12 https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/.
]

[AutoSolar, «Tipos de baterías solares,» 10 Julio 2020. [En línea]. Available:
13 https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/tipos-baterias-solares.
]

[U. d. P. M. (. Ministerio de Minas y Energía, «Invierta y gane con energía. Guía práctica para la
14 aplicación de los incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014,» Ministerio de Minas y Energía,
Bogotá, 2018.
]

[Acolgen , «¿Quiénes Somos?,» 2019. [En línea]. Available:
15 https://www.acolgen.org.co/quienes-somos/.
]

[C. d. R. d. E. y. G. CREG, «Estructura del Sector,» 27 Diciembre 2017. [En línea]. Available:
16 https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/estructura-del-sector.
]

[CELSIA. Empresa de energía del Grupo ARGOS, «Energía solar en Colombia: así es el panorama
17 en cifras,» 31 Mayo 2018. [En línea]. Available: https://blog.celsia.com/new/energia-solar-en-
colombia-panorama-en-cifras/.
]

[IDEAM, «Atlas de radiación solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia,» 11 11 2020. [En línea].
18 Available: http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html.
]

[Google TM., «Google Maps,» Marzo 2019. [En línea]. Available:
19 https://www.google.com/maps/@4.7495187,-74.3250284,14z?hl=es.
]

[Google TM, «Google Earth,» 4 Diciembre 2020. [En línea]. Available:
20 https://earth.google.com/web/search/bojaca/@4.73683795,-74.34425445,-
] 851.12654754a,5719.58677938d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCd-
rt1WjXTNAEd2rt1WjXTPAGSzpVYiwGElAISzpVYiwGEnA.

[DIALux, «DIALux evo 9.1,» 2021. [En línea]. Available: https://www.dialux.com/es-ES/.
21
]

[Enel Codensa, «Linkinormas,» Cinco Mayo 2013. [En línea]. Available:
22 https://likinormas.micodensa.com/Norma/alumbrado_publico/generalidades_ap/generalidad
] es_6_1_sistema_alumbrado_publico.

[Enel Codensa, «Linkinormas Enel Codensa,» 03 Febrero 2016. [En línea]. Available:
23 https://likinormas.micodensa.com/Especificacion/cables/et123_alambre_monopolar_cobre_al
] umbrado_publico.

[municipio.com.co, «Municipios de Colombia/Departamento de Cundinamarca/Bojacá,»
24 Septiembre 2020. [En línea]. Available: https://www.municipio.com.co/municipio-bojaca.html.
]

[ERA Solar, «ERA Solar,» Bogotá, 2020.
25
]

[F. G. Molina Bernal y F. D. Forero Salamanca, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA
26 DE ENERGÍA ALTERNATIVA DEL PROYECTO DE CASAS PRANA EN APULO CUNDINAMARCA,»
] 2016. [En línea]. Available: https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5356.

[PVSyst Photovoltaic Software, «A powerful software for your photovoltaic systems,» 15 Enero
27 2021. [En línea]. Available: https://www.pvsyst.com/.
]

[Sylvania, «CATEGORÍA: ALUMBRADO PÚBLICO Y TÚNELES,» Enero 2020. [En línea]. Available:
28 https://sylvania-colombia.com/product/led-street-light-urban/.
]

[29] I. Rondón , V. Calanche y F. Rojas, «METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA VIDA ÚTIL DEL AUTOTRANSFORMADOR AT-4, 700MVA DE LA SUBESTACIÓN GUAYANA "B" DEBIDO A SOBRECARGAS,» *Scielo.org,* pp. 1-2, 2013.

[30] Damia Solar, «Cuál es la vida útil de los paneles solares,» 25 05 2019. [En línea]. Available: https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/cual-es-la-vida-util-de-los-paneles-solares_1#:~:text=Sin%20embargo%2C%20su%20vida%20%C3%BAtil,degradaci%C3%B3n%20de%20sus%20c%C3%A9lulas%20fotovoltaicas..

[31] SUNFIELDS EUROPE, «Conceptos sobre baterías solares,» 2015. [En línea]. Available: https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-fotovoltaicos-baterias-solares-parte-iii/.

[32] Enel Codensa, «Tarifas de Energía Enel Codensa,» Enero 2020. [En línea]. Available: https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-codensa.html.

[33] CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), «Resolución No 183 de 2010,» 29 Diciembre 2010. [En línea]. Available: http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/d07f5c7ecc3504810525785a007a764c?OpenDocument.

[34] Findeter. Banca de Desarrollo Territorial, «Líneas de crédito de Redescuento,» 2021. [En línea]. Available: https://www.findeter.gov.co/productos-y-servicios/lineas-de-credito-de-redescuento.

[35] W. L. Niño Calvo, «COMPARATIVO COSTO GENERACIÓN DE 1 KW/h POR ENERGÍA SOLAR FRENTE A ENERGÍA DE FUENTE NO RENOVABLE CASO DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA,» Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, 2019.

[36] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, «CONCEPTO 1288 DE 2010,» 18 Febrero 2010. [En línea]. Available: http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/0/6bc171804386633505 25785a007a7790?OpenDocument. [Último acceso: 10 Septiembre 2021].

[37] V. Gómez, R. Peña y C. Hernandez, «Identificación y localización de fallas en sistemas de distribución, utilizando medidores de calidad del servicio de energía eléctrica,» Enero 2011. [En línea]. Available: https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/download/3710/5309/15277. [Último acceso: 10 Septiembre 2021].

[38] G. M. Benito Molina y K. J. Ruiz Calederon, «ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE VILLAVICENCIO, META,» Universidad Santo Tomás , Villavicencio, 2018.

[39] Unidad de Planeación Mineroenergética, «DÍA HISTÓRICO PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA: POR PRIMERA VEZ, LA ENERGÍA DEL SOL Y DEL VIENTO LLEGARÁ, A PRECIOS MÁS BAJOS, A LOS HOGARES COLOMBIANOS,» Mayo 2019. [En línea]. Available: https://www1.upme.gov.co/SalaPrensa/ComunicadosPrensa/Comunicado_05_2019.pdf. [Último acceso: 01 Abril 2021].

[40] La República , «En Colombia el factor de emisión de CO2 por generación eléctrica es de 164,38 gramos por kWh,» *La República,* p. 1, 2020.

[41] R. Resch, «Crónica ONU,» 2007. [En línea]. Available: https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el.

[42] A. Gidén Hember, I. Sjöberg y C. Walleström, The Advantages of LED street lighting and a smart control system in Uppsala municipality, Uppsala: Uppsala Universitet , 2017.

[43] . A. Ożadowicz y J. Grela, «The Street Lighting Integrated System Case Study, Control Scenarios, Energy Efficiency,» AGH University Of Science and Technology in Krakow, Krakow, 2014.

[44] J. Liu y E. Scronce, «Banco Mundial Blogs,» 12 Septiembre 2016. [En línea]. Available: https://blogs.worldbank.org/es/opendata/grafico-los-dispositivos-led-de-iluminacion-aumentan-su-participacion-en-el-mercado-nivel-mundial#:~:text=La%20iluminaci%C3%B3n%20representa%20aproximadamente%20el,el%20per%C3%ADodo%20de%202010%2D2020..

[45] S. B. Mohamed, M. S. Kasim y M. A. Sulaiman, «LIGHTING CONTROL SYSTEM (ILCS) USING LABVIEW,» Journal of Fundamental and Applied Sciences, Terengganu, 2017.

[46] Y. M. Jagadeesh, S. Akilesh, S. Karthik y Prasanth, «Intelligent Street Lights,» Elsevier Ltd, Chennai, 2015.

[47] Y. Cheng, F. Cheng , Y. Jingfeng y L. Zhu, «Design and Application of a Smart Lighting System Based on Distributed Wireless Sensor Networks,» Widelinker Intelligent Technology Co, Nanjing, 2020.

[48] I. Matveev, E. Siemens, A. Yurchenko y D. Kuznetsov, «Development and Eperimental Investigations of Motion Detection Module for smart Lighting System,» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 2016.

[49] R. Alexandru, V. Gami, V. Aggarwal, J. Sun, P. Tu, I. Ionascu y N. Lamanna, «Smart Street Lighting,» Londres, 2014.

[50] P. F. Salazar, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO INTELIGENTE BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE POPAYÁN,» Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, 2018.

[51] J. M. Chacho Gómez, P. E. Sotomayor Solís y N. D. Delgado Quiñonez, «Diseño e implementación de un sistema automático de Alumbrado Led Público Inteligente controlado vía wireless e instalado en la Casa Don Bosco de Guayaquil,» Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2013.

[52] S. Pizzuti, M. Annunziato y F. Moretti, «Smart street lighting management,» Springer Science + Business Media Dordrecht, Roma, 2013.

[53] World Bank Group, «A greener path to competitiveness policies for climate action in industries and products,» World Bank Group, Washington DC, 2016.

[54] J. A. A. Daza, «Aplicaciones del procesamiento automático de imágenes en la ingeniería de tráfico,» Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, 2018.

[55] A. F. Loaiza Quintana , D. A. Manzano Herrera y L. E. Munera Salazar, Sistema de visión artificial para conteo de objetos en movimiento, Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2012.

[Techno India University, «Smart Street Light Control System Using an Algorithm and Image
5 Processing,» Techno India University, Bengala, 2017.
6
]

[P. Roncaglio, «Procesamiento Digital de Imágenes,» 2007.
5
7
]

[Z. Pooya Najafi, B. Morteza y G. Vahid, «Monitoring and Remote Sensing of the Street Lighting
5 System Using Computer Vision and Image Processing Techniques for the Purpose of
8 Mechanized Blackouts,» Islamic Azad University Science and Research Branch in Semnan ,
] Semnan, 2012.

[NOKTA, «IP CAMERA SYSTEMS,» 2017. [En línea]. Available:
5 http://www.zayifakimsistemleri.com/en/ip-kamera-sistemleri/.
9
]

[Suprijadi, T. Muliawan y V. Sparisoma, «Automatic Road Lighting System (ARLS) Model Based
6 on Image Processing of Moving Object,» Institut Teknologi Bandung, Jakarta, 2013.
0
]

[C. K. Ng, C. H. Wu, W. H. Ip, C. Y. Chan y G. S. Ho, «A Real Time Quality Monitoring System for
6 the Lighting Industry: A practical and Rapid Approach Using Computer Vision and Image
1 Processing (CVIP) Tools,» INTECH Open Access Publisher , Hong Kong, 2011.
]

[J. P. Dignani, «ANÁLISIS DE PROTOCOLO ZIGBEE,» Universidad Nacional de La Plata, La Plata,
6 2011.
2
]

[S. M. Martí, «Diseño de un sistema de Televigilancia sobre IP para el edificio CRAI de la Escuela
6 Politécnica Superior de Gandia,» Universidad Politécnica de Valencia, Gandia, 2013.
3
]

[U. d. P. M. UPME, «BECO, Balance Energético Colombiano,» 7 Diciembre 2020. [En línea].
6 Available: https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/PETROLEO.aspx.
4
]

[65] Sylvania, «CATEGORÍA: SISTEMAS DE ILUMINACIÓN SOLAR,» 2019. [En línea].

[66] Contraloría de Bogotá, «ANALISIS AL MODELO DE COBRO DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN BOGOTÁ,» Contraloría de Bogotá, Bogotá, 2004.

[67] Universidad Católica de Chile, «Evolución de Costos ERNC,» Junio 2012. [En línea]. Available: https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/C._Foto.html#:~:text=Bloomberg%2C%202010).-,Los%20costos%20de%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20sistemas%20fotovoltaicos%20de,IEA%2C%202010c)..

[68] SYLVANIA, «Lista de precios LED,» 2019. [En línea]. Available: https://www.dielco.co/catalogos/13_SYLVANIA/LISTA%20DE%20PRECIOS%20LEDS%2019%20Noviembre%20al%2015%20Diciembre%20.pdf.

[69] ARGOS, «Tienda Argos,» 2021. [En línea]. Available: https://www.tiendargos.com.co/.

[70] HOMECENTER, «Homecenter, Sodimac-Corona,» 2021. [En línea]. Available: https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/.

[71] Tekpro eCommerce, «Tecnored, Comercialización de Materiales,» 2021. [En línea]. Available: https://www.tiendatecnored.cl/tuerca-hexagonal-acero-galvanizado-para-perno-3-4.html.

[72] Indeed, «¿Cuál es el salario base de varias profesiones en Colombia?,» 2021. [En línea]. Available: https://co.indeed.com/career/salaries.

[73] I.E., «INTERELECTRICAS, La Alianza Eficaz,» 2021. [En línea]. Available: http://www.interelectricas.com.co/.

[MercadoLibre Colombia LTDA., «Mercado Libre,» 2021. [En línea]. Available:
7 https://www.mercadolibre.com.co/.
4
]

12. ANEXOS

- Anexo I: Tabla de amortización para el plan de pagos a FINDETER

Mes	Cuota	Intereses	Capital	Saldo
0	0	0	0	$ 640.423.169
1	$ 4.904.227	$ 2.409.790	$ 2.494.437	$ 637.928.732
2	$ 4.904.227	$ 2.400.404	$ 2.503.823	$ 635.424.909
3	$ 4.904.227	$ 2.390.982	$ 2.513.244	$ 632.911.665
4	$ 4.904.227	$ 2.381.525	$ 2.522.701	$ 630.388.964
5	$ 4.904.227	$ 2.372.033	$ 2.532.194	$ 627.856.771
6	$ 4.904.227	$ 2.362.505	$ 2.541.722	$ 625.315.049
7	$ 4.904.227	$ 2.352.941	$ 2.551.286	$ 622.763.763
8	$ 4.904.227	$ 2.343.341	$ 2.560.886	$ 620.202.878
9	$ 4.904.227	$ 2.333.705	$ 2.570.522	$ 617.632.356
10	$ 4.904.227	$ 2.324.032	$ 2.580.194	$ 615.052.162
11	$ 4.904.227	$ 2.314.324	$ 2.589.903	$ 612.462.259
12	$ 4.904.227	$ 2.304.578	$ 2.599.648	$ 609.862.610
13	$ 4.904.227	$ 2.294.796	$ 2.609.430	$ 607.253.180
14	$ 4.904.227	$ 2.284.977	$ 2.619.249	$ 604.633.931
15	$ 4.904.227	$ 2.275.122	$ 2.629.105	$ 602.004.826
16	$ 4.904.227	$ 2.265.229	$ 2.638.998	$ 599.365.829
17	$ 4.904.227	$ 2.255.299	$ 2.648.928	$ 596.716.901
18	$ 4.904.227	$ 2.245.331	$ 2.658.895	$ 594.058.006
19	$ 4.904.227	$ 2.235.327	$ 2.668.900	$ 591.389.106
20	$ 4.904.227	$ 2.225.284	$ 2.678.943	$ 588.710.164
21	$ 4.904.227	$ 2.215.204	$ 2.689.023	$ 586.021.141
22	$ 4.904.227	$ 2.205.085	$ 2.699.141	$ 583.322.000
23	$ 4.904.227	$ 2.194.929	$ 2.709.297	$ 580.612.702

24	$ 4.904.227	$ 2.184.734	$ 2.719.492	$ 577.893.210
25	$ 4.904.227	$ 2.174.502	$ 2.729.725	$ 575.163.485
26	$ 4.904.227	$ 2.164.230	$ 2.739.996	$ 572.423.489
27	$ 4.904.227	$ 2.153.920	$ 2.750.307	$ 569.673.182
28	$ 4.904.227	$ 2.143.571	$ 2.760.655	$ 566.912.527
29	$ 4.904.227	$ 2.133.183	$ 2.771.043	$ 564.141.484
30	$ 4.904.227	$ 2.122.756	$ 2.781.470	$ 561.360.014
31	$ 4.904.227	$ 2.112.290	$ 2.791.936	$ 558.568.077
32	$ 4.904.227	$ 2.101.785	$ 2.802.442	$ 555.765.636
33	$ 4.904.227	$ 2.091.240	$ 2.812.987	$ 552.952.649
34	$ 4.904.227	$ 2.080.655	$ 2.823.572	$ 550.129.077
35	$ 4.904.227	$ 2.070.030	$ 2.834.196	$ 547.294.881
36	$ 4.904.227	$ 2.059.366	$ 2.844.861	$ 544.450.020
37	$ 4.904.227	$ 2.048.661	$ 2.855.565	$ 541.594.455
38	$ 4.904.227	$ 2.037.916	$ 2.866.310	$ 538.728.145
39	$ 4.904.227	$ 2.027.131	$ 2.877.096	$ 535.851.049
40	$ 4.904.227	$ 2.016.305	$ 2.887.922	$ 532.963.128
41	$ 4.904.227	$ 2.005.438	$ 2.898.788	$ 530.064.339
42	$ 4.904.227	$ 1.994.531	$ 2.909.696	$ 527.154.643
43	$ 4.904.227	$ 1.983.582	$ 2.920.645	$ 524.233.999
44	$ 4.904.227	$ 1.972.592	$ 2.931.634	$ 521.302.365
45	$ 4.904.227	$ 1.961.561	$ 2.942.666	$ 518.359.699
46	$ 4.904.227	$ 1.950.488	$ 2.953.738	$ 515.405.961
47	$ 4.904.227	$ 1.939.374	$ 2.964.853	$ 512.441.108
48	$ 4.904.227	$ 1.928.218	$ 2.976.009	$ 509.465.100
49	$ 4.904.227	$ 1.917.020	$ 2.987.207	$ 506.477.893
50	$ 4.904.227	$ 1.905.779	$ 2.998.447	$ 503.479.446
51	$ 4.904.227	$ 1.894.497	$ 3.009.730	$ 500.469.716
52	$ 4.904.227	$ 1.883.172	$ 3.021.055	$ 497.448.661
53	$ 4.904.227	$ 1.871.804	$ 3.032.422	$ 494.416.239
54	$ 4.904.227	$ 1.860.394	$ 3.043.833	$ 491.372.406
55	$ 4.904.227	$ 1.848.940	$ 3.055.286	$ 488.317.120
56	$ 4.904.227	$ 1.837.444	$ 3.066.783	$ 485.250.337
57	$ 4.904.227	$ 1.825.904	$ 3.078.322	$ 482.172.015
58	$ 4.904.227	$ 1.814.321	$ 3.089.906	$ 479.082.109
59	$ 4.904.227	$ 1.802.694	$ 3.101.532	$ 475.980.577
60	$ 4.904.227	$ 1.791.024	$ 3.113.203	$ 472.867.374
61	$ 4.904.227	$ 1.779.309	$ 3.124.917	$ 469.742.457
62	$ 4.904.227	$ 1.767.551	$ 3.136.676	$ 466.605.781
63	$ 4.904.227	$ 1.755.748	$ 3.148.478	$ 463.457.303
64	$ 4.904.227	$ 1.743.901	$ 3.160.325	$ 460.296.978

65	$ 4.904.227	$ 1.732.009	$ 3.172.217	$ 457.124.761
66	$ 4.904.227	$ 1.720.073	$ 3.184.154	$ 453.940.607
67	$ 4.904.227	$ 1.708.092	$ 3.196.135	$ 450.744.472
68	$ 4.904.227	$ 1.696.065	$ 3.208.161	$ 447.536.311
69	$ 4.904.227	$ 1.683.993	$ 3.220.233	$ 444.316.078
70	$ 4.904.227	$ 1.671.876	$ 3.232.350	$ 441.083.728
71	$ 4.904.227	$ 1.659.714	$ 3.244.513	$ 437.839.215
72	$ 4.904.227	$ 1.647.505	$ 3.256.721	$ 434.582.493
73	$ 4.904.227	$ 1.635.251	$ 3.268.976	$ 431.313.518
74	$ 4.904.227	$ 1.622.950	$ 3.281.276	$ 428.032.241
75	$ 4.904.227	$ 1.610.603	$ 3.293.623	$ 424.738.618
76	$ 4.904.227	$ 1.598.210	$ 3.306.016	$ 421.432.602
77	$ 4.904.227	$ 1.585.770	$ 3.318.456	$ 418.114.145
78	$ 4.904.227	$ 1.573.284	$ 3.330.943	$ 414.783.202
79	$ 4.904.227	$ 1.560.750	$ 3.343.477	$ 411.439.726
80	$ 4.904.227	$ 1.548.169	$ 3.356.058	$ 408.083.668
81	$ 4.904.227	$ 1.535.541	$ 3.368.686	$ 404.714.982
82	$ 4.904.227	$ 1.522.865	$ 3.381.362	$ 401.333.621
83	$ 4.904.227	$ 1.510.142	$ 3.394.085	$ 397.939.536
84	$ 4.904.227	$ 1.497.370	$ 3.406.856	$ 394.532.680
85	$ 4.904.227	$ 1.484.551	$ 3.419.676	$ 391.113.004
86	$ 4.904.227	$ 1.471.683	$ 3.432.543	$ 387.680.461
87	$ 4.904.227	$ 1.458.767	$ 3.445.459	$ 384.235.002
88	$ 4.904.227	$ 1.445.803	$ 3.458.424	$ 380.776.578
89	$ 4.904.227	$ 1.432.789	$ 3.471.437	$ 377.305.141
90	$ 4.904.227	$ 1.419.727	$ 3.484.499	$ 373.820.641
91	$ 4.904.227	$ 1.406.616	$ 3.497.611	$ 370.323.030
92	$ 4.904.227	$ 1.393.455	$ 3.510.772	$ 366.812.259
93	$ 4.904.227	$ 1.380.244	$ 3.523.982	$ 363.288.276
94	$ 4.904.227	$ 1.366.984	$ 3.537.242	$ 359.751.034
95	$ 4.904.227	$ 1.353.674	$ 3.550.552	$ 356.200.482
96	$ 4.904.227	$ 1.340.314	$ 3.563.912	$ 352.636.570
97	$ 4.904.227	$ 1.326.904	$ 3.577.323	$ 349.059.247
98	$ 4.904.227	$ 1.313.443	$ 3.590.783	$ 345.468.464
99	$ 4.904.227	$ 1.299.932	$ 3.604.295	$ 341.864.169
100	$ 4.904.227	$ 1.286.369	$ 3.617.857	$ 338.246.312
101	$ 4.904.227	$ 1.272.756	$ 3.631.470	$ 334.614.841
102	$ 4.904.227	$ 1.259.092	$ 3.645.135	$ 330.969.706
103	$ 4.904.227	$ 1.245.376	$ 3.658.851	$ 327.310.855
104	$ 4.904.227	$ 1.231.608	$ 3.672.618	$ 323.638.237
105	$ 4.904.227	$ 1.217.789	$ 3.686.438	$ 319.951.799

106	$ 4.904.227	$ 1.203.917	$ 3.700.309	$ 316.251.490
107	$ 4.904.227	$ 1.189.994	$ 3.714.233	$ 312.537.257
108	$ 4.904.227	$ 1.176.018	$ 3.728.209	$ 308.809.049
109	$ 4.904.227	$ 1.161.989	$ 3.742.237	$ 305.066.812
110	$ 4.904.227	$ 1.147.908	$ 3.756.319	$ 301.310.493
111	$ 4.904.227	$ 1.133.774	$ 3.770.453	$ 297.540.040
112	$ 4.904.227	$ 1.119.586	$ 3.784.640	$ 293.755.400
113	$ 4.904.227	$ 1.105.345	$ 3.798.881	$ 289.956.519
114	$ 4.904.227	$ 1.091.051	$ 3.813.176	$ 286.143.343
115	$ 4.904.227	$ 1.076.703	$ 3.827.524	$ 282.315.819
116	$ 4.904.227	$ 1.062.300	$ 3.841.926	$ 278.473.893
117	$ 4.904.227	$ 1.047.844	$ 3.856.383	$ 274.617.510
118	$ 4.904.227	$ 1.033.333	$ 3.870.893	$ 270.746.617
119	$ 4.904.227	$ 1.018.768	$ 3.885.459	$ 266.861.158
120	$ 4.904.227	$ 1.004.147	$ 3.900.079	$ 262.961.079
121	$ 4.904.227	$ 989.472	$ 3.914.754	$ 259.046.325
122	$ 4.904.227	$ 974.742	$ 3.929.485	$ 255.116.840
123	$ 4.904.227	$ 959.956	$ 3.944.271	$ 251.172.569
124	$ 4.904.227	$ 945.114	$ 3.959.112	$ 247.213.457
125	$ 4.904.227	$ 930.217	$ 3.974.010	$ 243.239.448
126	$ 4.904.227	$ 915.263	$ 3.988.963	$ 239.250.485
127	$ 4.904.227	$ 900.254	$ 4.003.973	$ 235.246.512
128	$ 4.904.227	$ 885.188	$ 4.019.039	$ 231.227.473
129	$ 4.904.227	$ 870.065	$ 4.034.162	$ 227.193.311
130	$ 4.904.227	$ 854.885	$ 4.049.342	$ 223.143.969
131	$ 4.904.227	$ 839.648	$ 4.064.578	$ 219.079.391
132	$ 4.904.227	$ 824.354	$ 4.079.873	$ 214.999.518
133	$ 4.904.227	$ 809.002	$ 4.095.224	$ 210.904.294
134	$ 4.904.227	$ 793.592	$ 4.110.634	$ 206.793.660
135	$ 4.904.227	$ 778.125	$ 4.126.102	$ 202.667.558
136	$ 4.904.227	$ 762.599	$ 4.141.627	$ 198.525.931
137	$ 4.904.227	$ 747.015	$ 4.157.211	$ 194.368.719
138	$ 4.904.227	$ 731.372	$ 4.172.854	$ 190.195.865
139	$ 4.904.227	$ 715.671	$ 4.188.556	$ 186.007.309
140	$ 4.904.227	$ 699.910	$ 4.204.317	$ 181.802.993
141	$ 4.904.227	$ 684.090	$ 4.220.137	$ 177.582.856
142	$ 4.904.227	$ 668.210	$ 4.236.016	$ 173.346.840
143	$ 4.904.227	$ 652.271	$ 4.251.956	$ 169.094.884
144	$ 4.904.227	$ 636.272	$ 4.267.955	$ 164.826.929
145	$ 4.904.227	$ 620.212	$ 4.284.014	$ 160.542.915
146	$ 4.904.227	$ 604.092	$ 4.300.134	$ 156.242.781

147	$ 4.904.227	$ 587.912	$ 4.316.315	$ 151.926.466
148	$ 4.904.227	$ 571.670	$ 4.332.556	$ 147.593.910
149	$ 4.904.227	$ 555.368	$ 4.348.859	$ 143.245.051
150	$ 4.904.227	$ 539.004	$ 4.365.223	$ 138.879.828
151	$ 4.904.227	$ 522.578	$ 4.381.648	$ 134.498.180
152	$ 4.904.227	$ 506.091	$ 4.398.136	$ 130.100.044
153	$ 4.904.227	$ 489.542	$ 4.414.685	$ 125.685.359
154	$ 4.904.227	$ 472.930	$ 4.431.297	$ 121.254.062
155	$ 4.904.227	$ 456.256	$ 4.447.971	$ 116.806.092
156	$ 4.904.227	$ 439.519	$ 4.464.708	$ 112.341.384
157	$ 4.904.227	$ 422.719	$ 4.481.507	$ 107.859.877
158	$ 4.904.227	$ 405.856	$ 4.498.370	$ 103.361.506
159	$ 4.904.227	$ 388.930	$ 4.515.297	$ 98.846.209
160	$ 4.904.227	$ 371.939	$ 4.532.287	$ 94.313.922
161	$ 4.904.227	$ 354.885	$ 4.549.341	$ 89.764.581
162	$ 4.904.227	$ 337.767	$ 4.566.460	$ 85.198.121
163	$ 4.904.227	$ 320.584	$ 4.583.642	$ 80.614.479
164	$ 4.904.227	$ 303.337	$ 4.600.890	$ 76.013.589
165	$ 4.904.227	$ 286.025	$ 4.618.202	$ 71.395.387
166	$ 4.904.227	$ 268.647	$ 4.635.579	$ 66.759.808
167	$ 4.904.227	$ 251.204	$ 4.653.022	$ 62.106.786
168	$ 4.904.227	$ 233.696	$ 4.670.531	$ 57.436.255
169	$ 4.904.227	$ 216.122	$ 4.688.105	$ 52.748.150
170	$ 4.904.227	$ 198.481	$ 4.705.745	$ 48.042.405
171	$ 4.904.227	$ 180.774	$ 4.723.452	$ 43.318.953
172	$ 4.904.227	$ 163.001	$ 4.741.226	$ 38.577.727
173	$ 4.904.227	$ 145.161	$ 4.759.066	$ 33.818.661
174	$ 4.904.227	$ 127.253	$ 4.776.973	$ 29.041.688
175	$ 4.904.227	$ 109.278	$ 4.794.948	$ 24.246.740
176	$ 4.904.227	$ 91.236	$ 4.812.991	$ 19.433.749
177	$ 4.904.227	$ 73.125	$ 4.831.101	$ 14.602.648
178	$ 4.904.227	$ 54.947	$ 4.849.280	$ 9.753.369
179	$ 4.904.227	$ 36.700	$ 4.867.526	$ 4.885.842
180	$ 4.904.227	$ 18.384	$ 4.885.842	-$ 0

Tabla 24. Amortización y detalle de plan de pagos.
Elaboración propia

- Anexo 2: Ficha técnica luminaria LED Street URBAN – Sylvania

SYLVANIA

LED Street Light Urban

LED STREET 18-35W NW URBAN

P27484



Luminaria LED para iluminación vial y exterior, con diseño moderno y robusto de un cuerpo en aluminio inyectado y compartimentos independientes para el conjunto óptico y eléctrico. Montaje en tubo de soporte para poste horizontal o en punta. Proyección uniforme de la luz , reduce los costos de consumo de energía y de mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS

Diseño moderno con fuente LED SMD y lentes en policarbonato

Chasis robusto en aluminio inyectado, liviano con disipador de calor integrado

Compartimentos separados para el conjunto eléctrico y óptico con visagra a prueba de atascamientos

Ganchos de cierre y soporte con ángulo ajustable para fácil instalación

APLICACIONES

Alumbrado público en calles, avenidas y autopistas

Iluminación general en exteriores

Parques, plazoletas y parqueaderos

LED

>20 años de vida (Uso 12 horas al día)

Tecnología Amigable con el medio ambiente

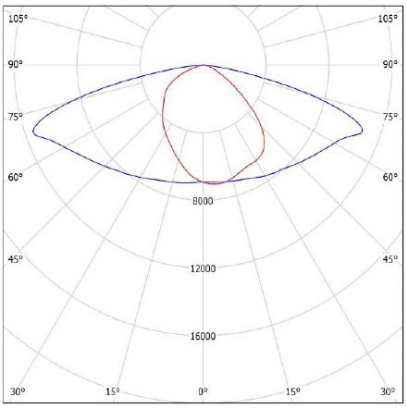
Ultra Resistente

ENCENDIDO INSTANTANEO

DATOS ÓPTICOS

Temperatura de color	4000K
Flujo luminoso nominal máximo	5075 lm
Atenuable	SI
Tipo de distribución	Tipo II S
Vida útil estimada	100000h L70 *
Eficacia	145 lm/W
Reproducción de color (IRC)	>70
Consistencia de color	SDCM ≤ 5
Tipo chip LED	SMD Samsung
Número de chip LED	40pcs
Corriente Máxima de entrada Módulo	1080mA
Tipo de Lente	PMMA
Transmitancia Lente	0.92
Lentes con distribución única	SI
Ángulo de inclinación	-10° a 10°

DISTRIBUCIÓN FOTOMÉTRICA



CARACTERÍSTICAS ADICIONALES

Acometida 3x14AWG con prensaestopa para asegurar hermeticidad

Soporte para instalación en brazo horizontal o punta de poste

Sistema de apertura fácil. No requiere herramienta especializada.

Conductores tipo cable con conectores en todas las conexiones.

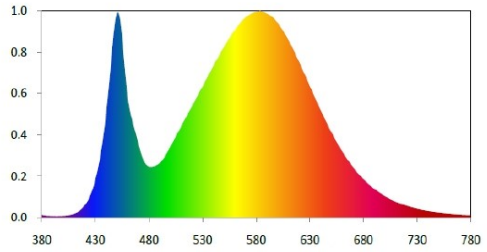
CONFIGURACIÓN DE CORRIENTE DE OPERACIÓN

Corriente Módulo	Flujo Luminoso	Potencia
1080mA	5075 lm	35 W
926mA	4351 lm	30 W
771mA	3623 lm	25 W
540mA	2538 lm	18 W

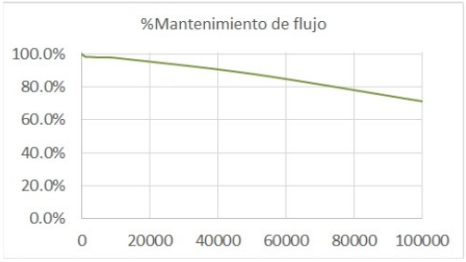
LED STREET 18-35W NW URBAN

P27484

DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL



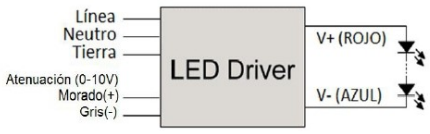
MANTENIMIENTO DE FLUJO LUMINOSO



DATOS ELÉCTRICOS

Potencia de entrada max.	35 W
Tensión de entrada	100-277 V 50/60 Hz
Corriente de entrada máx	0.17A @220V
Factor de potencia	0.95
Distorsión armónica (THD)	<20%
Tipo de driver	Corriente Constante
Atenuable	Señal 0-10V
Eficiencia driver	>90%
Protección integrada driver	10KV línea-tierra
Tensión de salida DC	14-39 Vdc
Corriente de salida DC	0.192-2.8A
Protecciones Corto Circuito / Temperatura	SI
Clase aislamiento	Clase I (Opc. Clase II)
Protección Transitorios	DPS 10KV
Base fotocelda	NEMA 3 pin

DIAGRAMA DE CONEXIÓN



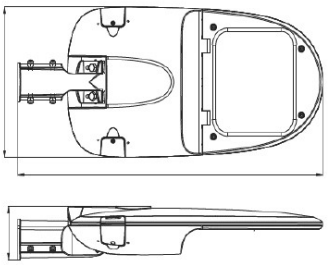
La señal de control para la atenuación debe cumplir con el estándar IEC 60929 Anexo E, que define el driver o balasto como fuente de corriente.

Driver ensamblado en bandeja portaequipo anclada sobre la estructura interna de la luminaria, de fácil mantenimiento.
El Driver LED incluye la protección de sobrecarga interna.
La protección de sobre-corriente del Driver desconecta la carga ante un corto citcuito y reconecta automáticamente.

DATOS FÍSICOS

Acabado	Gris RAL7004
Grado de protección conjunto óptico / eléctrico	IP66 / IP66
Grado de protección contra impactos	IK08
Dimensiones (LxWxH)	591x278x110 mm
Chasis	Aluminio inyectado
Tipo de montaje	Brazo horizontal
Diametro máx. brazo	60 mm
Peso	6.5 Kg
Temperatura de operación Ta	-40°C ~ +45°C
Espacio disponible para equipo adicional	110x55x50 mm
EAN-13	7702048274841
EAN-14	17702048274848

ESQUEMA PRODUCTO

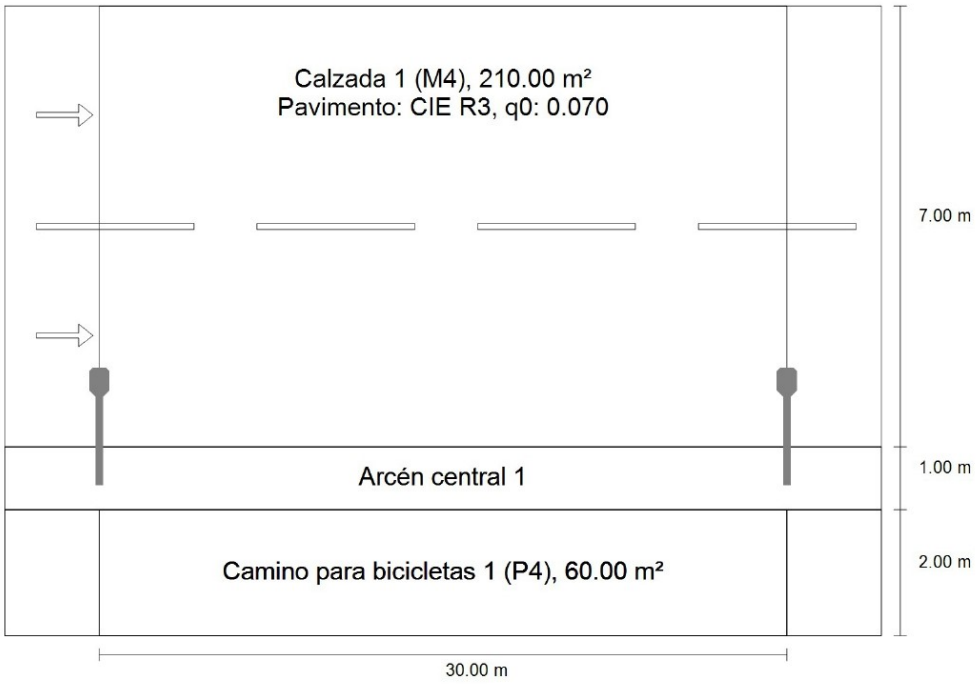


La información está sujeta a cambio sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 10/19 Producto Ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

- Anexo 3: Informe de estudio fotométrico obtenido en el software DIALux evo 9.1.

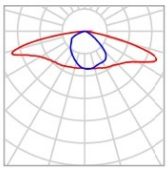
Calle 1 · Alternativa 1

Resumen (hacia EN 13201:2015)



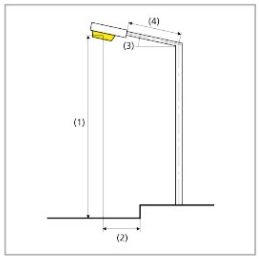
Calle 1 · Alternativa 1

Resumen (hacia EN 13201:2015)



Fabricante	SYLVANIA	P	37.8 W
N° de artículo		$\Phi_{Lámpara}$	5443 lm
Nombre del artículo	P27484 - LED STREET LIGHT 35W NW URBAN	$\Phi_{Luminaria}$	5441 lm
		η	99.97 %
Lámpara	1x		

P27484 - LED STREET LIGHT 35W NW URBAN (unilateral abajo)



Distancia entre mástiles	30.000 m
(1) Altura de punto de luz	8.000 m
(2) Saliente del punto de luz	1.000 m
(3) Inclinación del brazo	20.0°
(4) Longitud del brazo	1.663 m
Horas de trabajo anuales	4380 h: 100.0 %, 37.8 W
Consumo	1247.4 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidad lumínica máx Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	≥ 70°: 594 cd/klm ≥ 80°: 443 cd/klm ≥ 90°: 69.1 cd/klm
Clase de potencia lumínica Los valores de intensidad lumínica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia lumínica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.	-
Clase de índice de deslumbramiento	D.0

Calle 1 · Alternativa 1

Resumen (hacia EN 13201:2015)

Resultados para campos de evaluación

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (M4)	L_m (2)	0.80 cd/m²	≥ 0.80 cd/m²	✓
	U_o	0.56	≥ 0.40	✓
	U_l (2)	0.84	≥ 0.50	✓
	TI	14 %	≤ 15 %	✓
	R_{EI}	0.61	≥ 0.30	✓
Camino para bicicletas 1 (P4)	E_m (2)	5.75 lx	[5.00 - 7.50] lx	✓
	E_{min} (2)	2.64 lx	≥ 1.00 lx	✓

(2) Valor nominal modificado por el proyectista, difiere de la norma

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.92.

Resultados para indicadores de eficiencia energética

	Tamaño	Calculado	Consumo
Calle 1	D_p	0.016 W/lx*m²	-
P27484 - LED STREET LIGHT 35W NW URBAN (unilateral abajo)	D_e	0.6 kWh/m² año	165.6 kWh/año

- Anexo 4: Ficha técnica kit solar LED Street URBAN Sylvania

SYLVANIA

LED Street Light

KIT SOLAR STREET URBAN 35W NW 100%

P37788



Foto de referencia

* Poste y brazo no incluidos

Sistema integral de iluminación solar, el cual aprovecha la energía del sol para proporcionar una iluminación de alta calidad. Esta innovadora tecnología ofrece una forma conveniente y sostenible de iluminar espacios con un mínimo de inversión y mantenimiento, pues no requiere punto eléctrico.

CARACTERÍSTICAS

Componentes: Luminaria LED de alta eficacia, Panel solar policristalino fotovoltaico y batería.
100% solar, no requiere cableado o acometida eléctrica
Fácil instalación, para instalación en poste vertical
Controlador programado para trabajar 4h 100%, 4h 66% y 4h 33%.

APLICACIONES

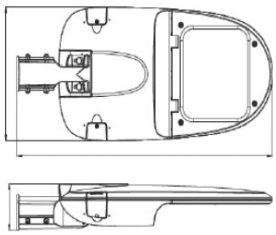
Alumbrado exterior en parques, senderos peatonales, jardines, terrazas, plazoletas.
Áreas comunes en conjuntos residenciales, industria y comercio.
Alumbrado público en senderos peatonales y vías secundarias.

LED · Tecnología Amigable con el medio ambiente · AHORRO ENERGÉTICO · Facilidad DE INSTALACIÓN

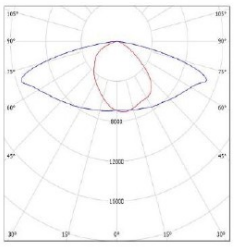
DATOS LUMINARIA		DATOS PANEL		DATOS BATERIA	
Temperatura de color	4000K (NW)	Cantidad de Paneles	1	Cantidad de Baterias	1
Flujo luminoso inicial	5040 lm	Potencia máxima panel	150W	Tipo batería	Acid Gel+Separador
Reproducción de color (IRC)	≥70	Tensión max. de salida	18.3V	Capacidad	150Ah
Vida útil LED	100000 h *	Corriente max.	5.46A	Tensión nominal	12VDC
Eficacia Luminaria	144 lm/W	Corriente de corto circuito	5.79A	Ciclos de funcionamiento	1000 ciclos+DOD 50%
Potencia Luminaria	35 W	No de Celdas	36(4X9)	Vida útil estimada	3 años
Acabado Luminaria	Pintura gris	Fusible	Max 10.A	Temperatura de operación Ta	´-15°C ~ 55°C
Grado de protección	IP66 / IK08	Tipo de vidrio	Vidrio Templado	Dimensiones	484x171x241 mm
Dimensiones Luminaria	693x316x112 mm	Vida útil panel	20 años (80% Potenci	Peso	40.5 Kg
Temperatura de operación Ta	-40°C ~ +45°C	Temperatura de operación Ta	Max 45°C		

*Vida util LED L70 LM80 TM21

DIMENSIONES



FOTOMETRIA



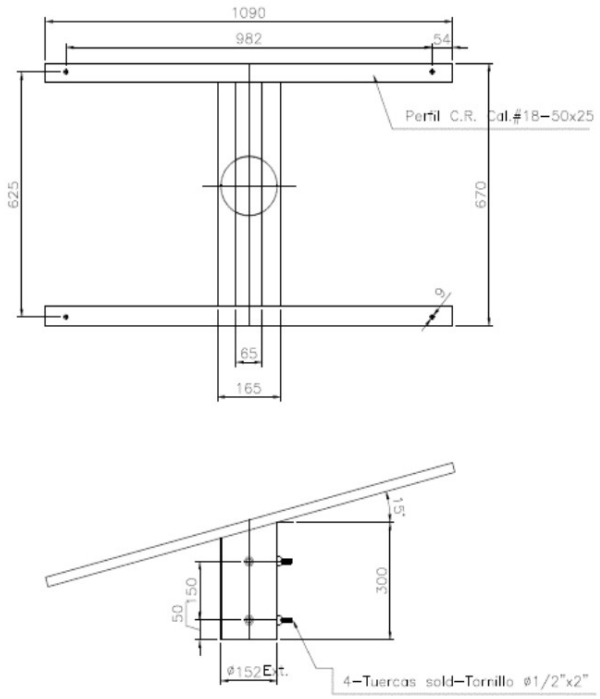
Las caracteristicas de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 02/20

Producto Ecológico:Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

SYLVANIA

PLANO DE SOPORTES PARA PANEL



* El kit se entrega con 3 m de cable solar para conexión de la luminaria y 3m de cable solar para conexión del panel solar, cantidades de cable adicionales deben ser solicitadas antes de la fabricación y tendrán un costo adicional.

Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 02/20

Producto Ecológico:Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

- Anexo 5: Informe obtenido de Software PVSystem, sin presencias de sombras.



PVsyst V7.1.2
VC0, Simulation date:
06/01/21 13:43
with v7.1.2

Project summary

Geographical Site
Bojacá
Colombia

Situation

Latitude	4.73 °N
Longitude	-74.35 °W
Altitude	2566 m
Time zone	UTC-5

Project settings

Albedo	0.20

Meteo data
Bojacá
NREL NSRDB Typ. Met. Year PSMv3_1998 to 2016 - TMY

System summary

Stand alone system

Stand alone system with batteries

PV Field Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 28 / 0 °

Near Shadings
Linear shadings

User's needs
Daily household consumers
Constant over the year
Average 0.4 kWh/Day

System information

PV Array

Nb. of modules	1 Unit
Pnom total	150 Wp

Battery pack

Technology	Lead-acid, sealed, AGM
Nb. of units	1 Unit
Voltage	12 V
Capacity	196 Ah

Results summary

Available Energy	174.1 kWh/year	Specific production	1161 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	56.04 %
Used Energy	145.3 kWh/year			Solar Fraction SF	94.76 %

Table of contents

Project and results summary 2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses 3
Near shading definition - Iso-shadings diagram 4
Detailed User's needs 5
Main results 6
Loss diagram 7
Special graphs 8

PVsyst TRIAL

General parameters

Stand alone system

Stand alone system with batteries

PV Field Orientation
Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 28 / 0 °

Models used
Transposition Perez
Diffuse Imported
Circumsolar separate

Near Shadings
Linear shadings

User's needs
Daily household consumers
Constant over the year
Average 0.4 kWh/Day

PV Array Characteristics

PV module
Manufacturer Generic
Model Poly 150 Wp 36 cells
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 150 Wp
Number of PV modules 1 Unit
Nominal (STC) 150 Wp
Modules 1 String x 1 In series
At operating cond. (50°C)
Pmpp 135 Wp
U mpp 16 V
I mpp 8.4 A

Battery
Manufacturer Generic
Model PVX-2120L
Technology Lead-acid, sealed, AGM
Nb. of units 1 Unit
Discharging min. SOC 20.0 %
Stored energy 1.9 kWh
Battery Pack Characteristics
Voltage 12 V
Nominal Capacity 196 Ah (C10)
Temperature External ambient temperature

Controller
Universal controller
Technology Series
Temp coeff. -5.0 mV/°C/Elem

Battery Management control
Threshold commands as SOC calculation
Charging SOC = 0.92 / 0.75
approx. 13.4 / 12.4 V
Discharging SOC = 0.20 / 0.45
approx. 11.6 / 12.1 V

Total PV power
Nominal (STC) 0 kWp
Total 1 modules
Module area 1.0 m²
Cell area 0.5 m²

Array losses

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses
Global array res. 32 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Serie Diode Loss
Voltage drop 0.7 V
Loss Fraction 3.9 % at STC

Module Quality Loss
Loss Fraction -0.8 %

Module mismatch losses
Loss Fraction (Fixed voltage) 2.5 %

Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.1 %

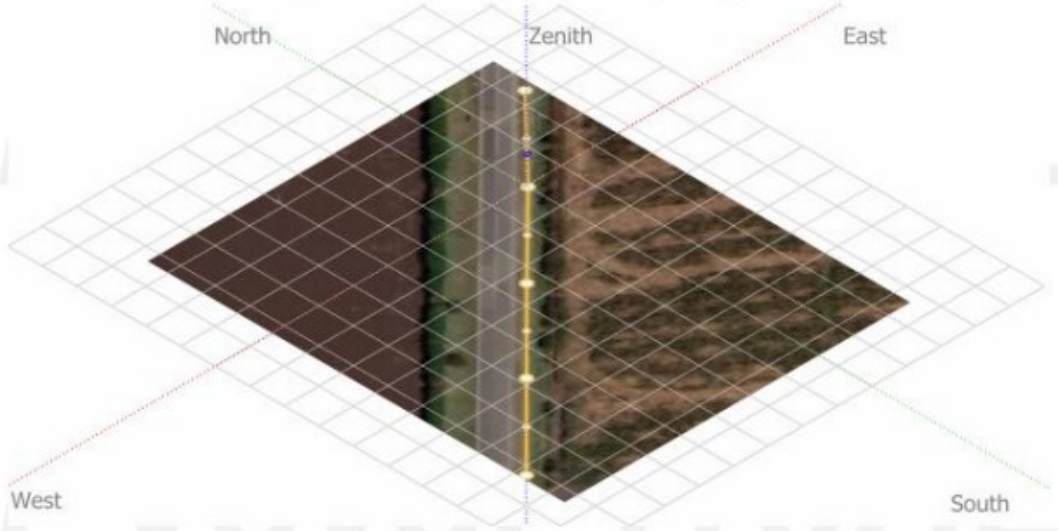
IAM loss factor
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

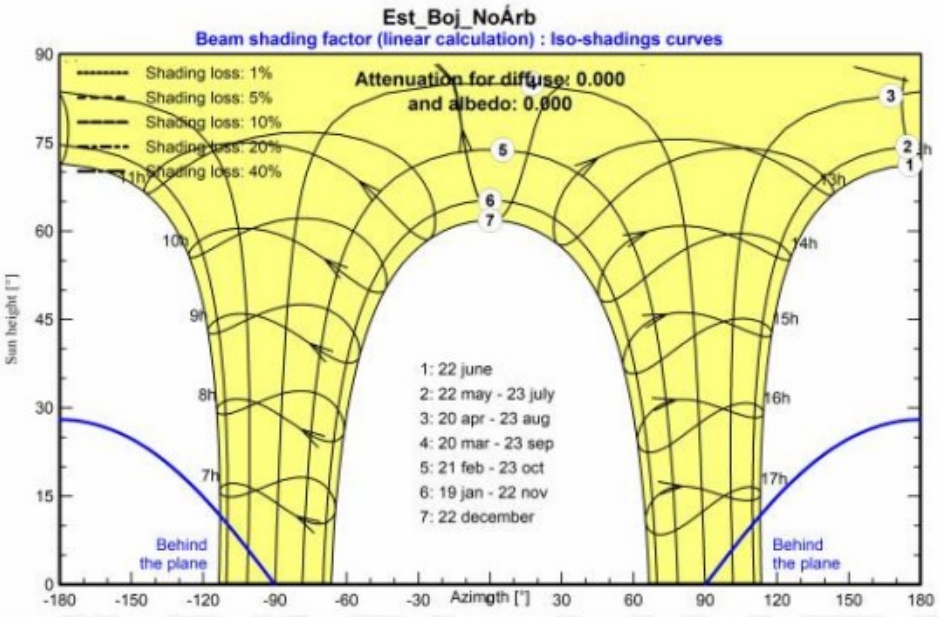
PVsyst TRIAL

Near shadings parameter

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram



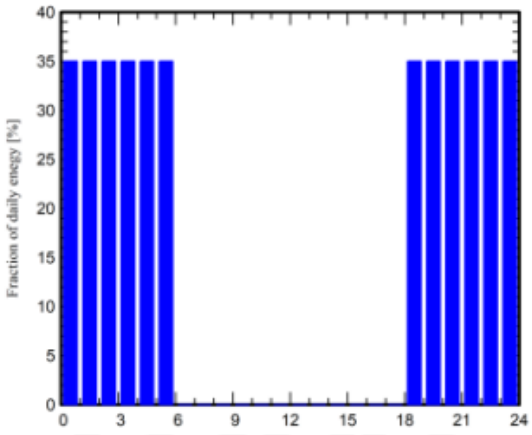
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 0.4 kWh/day

Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lámparas (LED o fluo)	1	35W/lamp	12.0	420
Total daily energy				420Wh/day

Hourly distribution



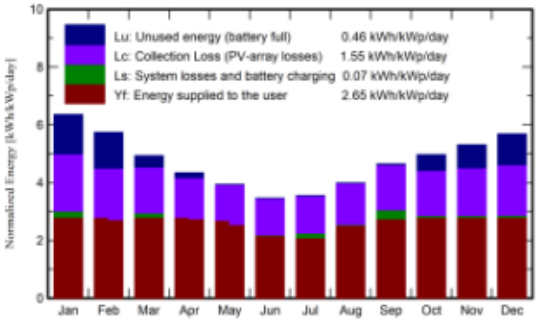
PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL

Main results

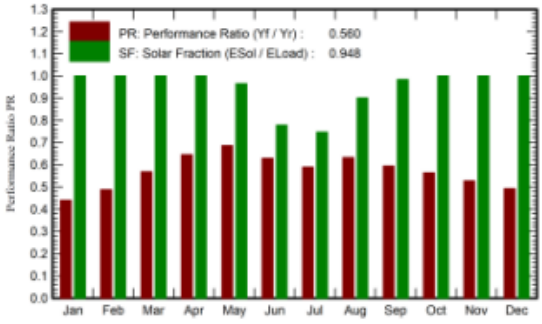
System Production

Available Energy	174.1 kWh/year	Specific production	1161 kWh/kWp/year
Used Energy	145.3 kWh/year	Performance Ratio PR	56.04 %
Excess (unused)	25.0 kWh/year	Solar Fraction SF	94.76 %
Loss of Load		**Battery aging (State of Wear)**	
Time Fraction	5.7 %	Cycles SOW	93.2 %
Missing Energy	8.0 kWh/year	Static SOW	80.1 %
		Battery lifetime	5.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

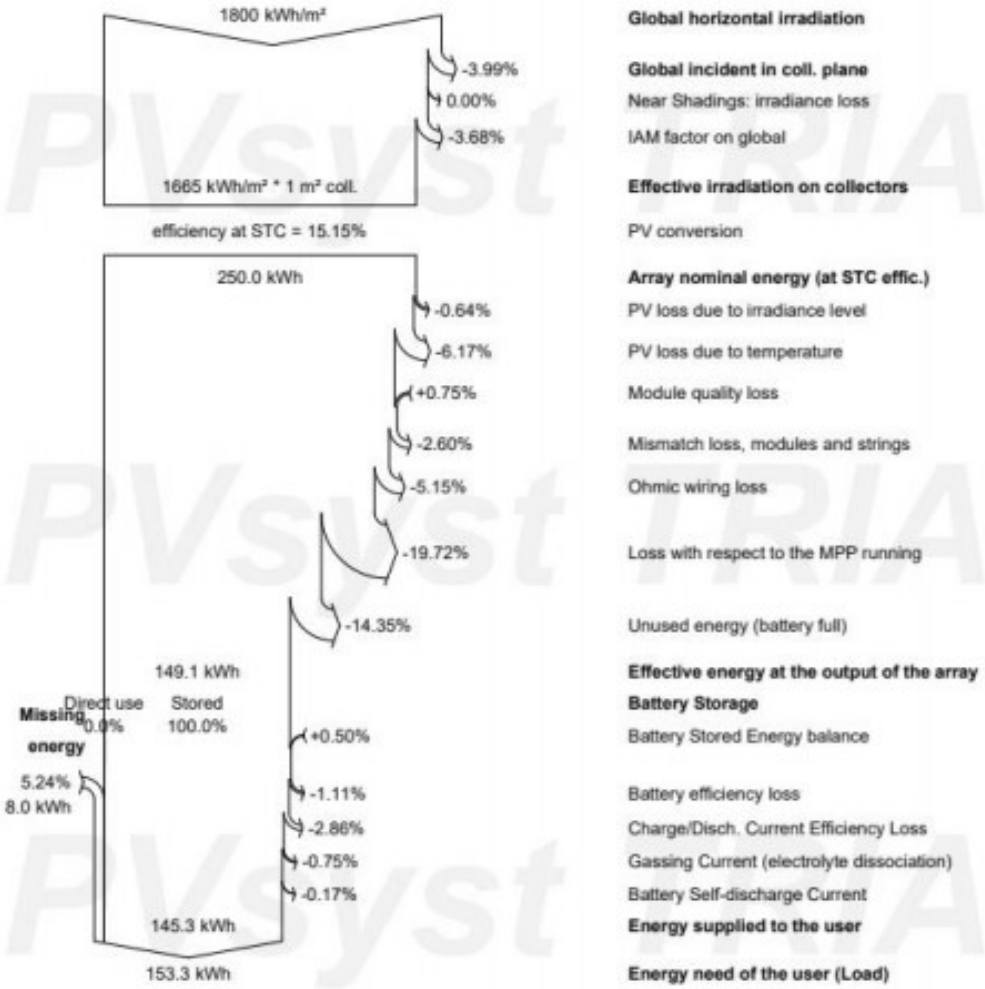
	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	172.9	192.3	20.34	6.290	0.000	13.02	13.02	1.000
February	151.0	156.4	16.56	5.139	0.000	11.76	11.76	1.000
March	158.7	147.2	15.54	1.783	0.000	13.02	13.02	1.000
April	147.7	124.6	13.10	0.705	0.000	12.60	12.60	1.000
May	150.6	115.9	11.88	0.000	0.452	12.57	13.02	0.965
June	133.3	97.6	9.85	0.000	2.797	9.80	12.60	0.778
July	139.6	103.6	10.49	0.000	3.292	9.73	13.02	0.747
August	146.6	117.4	11.87	0.000	1.283	11.74	13.02	0.901
September	150.0	133.4	13.85	0.065	0.210	12.39	12.60	0.983
October	152.1	149.5	15.87	2.526	0.000	13.02	13.02	1.000
November	143.8	155.0	16.44	3.556	0.000	12.60	12.60	1.000
December	153.5	171.7	18.30	4.922	0.000	13.02	13.02	1.000
Year	1799.9	1664.5	174.10	24.986	8.034	145.27	153.30	0.948

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

PVsyst TRIAL

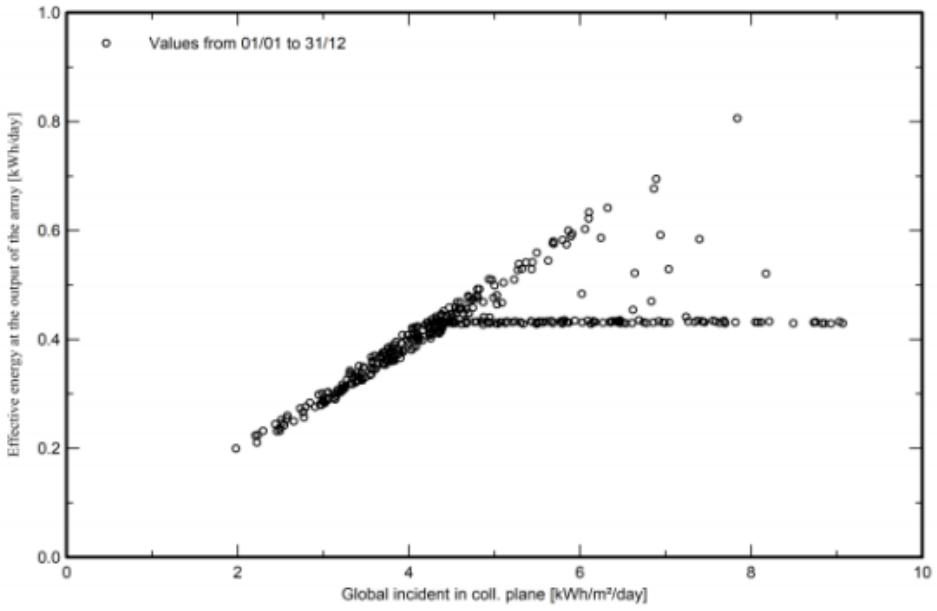
Loss diagram



PVsyst TRIAL

Special graphs

Diagrama entrada/salida diaria



PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL

- Anexo 6: Informe generado software PVSystem con sombras producidas por árboles en un solo costado de la vía.



Version 7.1.2

PVsyst - Simulation report

Stand alone system

Project: Est_Boj_Árb_1Lado

Variant: Nueva variante de simulación

Stand alone system with batteries

System power: 150 Wp

Bojacá - Colombia

PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL

PVsyst V7.1.2
VC0, Simulation date:
06/01/21 17:19
with v7.1.2

Project summary

Geographical Site
Bojacá
Colombia

Situation

Latitude	4.73 °N
Longitude	-74.35 °W
Altitude	2566 m
Time zone	UTC-5

Project settings

Albedo	0.20

Meteo data
Bojacá
NREL NSRDB Typ. Met. Year PSMv3_1998 to 2016 - TMY

System summary

Stand alone system

Stand alone system with batteries

PV Field Orientation

Fixed plane	
Tilt/Azimuth	28 / 0 °

Near Shadings
Linear shadings

User's needs
Daily household consumers
Constant over the year
Average 0.4 kWh/Day

System information

PV Array

Nb. of modules	1 Unit
Pnom total	150 Wp

Battery pack

Technology	Lead-acid, sealed, AGM
Nb. of units	1 Unit
Voltage	12 V
Capacity	196 Ah

Results summary

Available Energy	150.5 kWh/year	Specific production	1003 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	52.18 %
Used Energy	135.3 kWh/year			Solar Fraction SF	88.23 %

Table of contents

Project and results summary 2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses 3
Near shading definition - Iso-shadings diagram 4
Detailed User's needs 5
Main results 6
Loss diagram 7
Special graphs 8

PVsyst TRIAL

General parameters

Stand alone system

PV Field Orientation
Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 28 / 0 °

User's needs
Daily household consumers
Constant over the year
Average 0.4 kWh/Day

Stand alone system with batteries

Models used
Transposition Perez
Diffuse Imported
Circumsolar separate

Near Shadings
Linear shadings

PV Array Characteristics

PV module
Manufacturer Generic
Model Poly 150 Wp 36 cells
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 150 Wp
Number of PV modules 1 Unit
Nominal (STC) 150 Wp
Modules 1 String x 1 In series
At operating cond. (50°C)
Pmpp 135 Wp
U mpp 16 V
I mpp 8.4 A

Battery
Manufacturer Generic
Model PVX-2120L
Technology Lead-acid, sealed, AGM
Nb. of units 1 Unit
Discharging min. SOC 20.0 %
Stored energy 1.9 kWh
Battery Pack Characteristics
Voltage 12 V
Nominal Capacity 196 Ah (C10)
Temperature External ambient temperature

Controller
Universal controller
Technology Series
Temp coeff. -5.0 mV/°C/Elem

Battery Management control
Threshold commands as SOC calculation
Charging SOC = 0.92 / 0.75
approx. 13.4 / 12.4 V
Discharging SOC = 0.20 / 0.45
approx. 11.6 / 12.1 V

Total PV power
Nominal (STC) 0 kWp
Total 1 modules
Module area 1.0 m²
Cell area 0.5 m²

Array losses

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses
Global array res. 32 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Serie Diode Loss
Voltage drop 0.7 V
Loss Fraction 3.9 % at STC

Module Quality Loss
Loss Fraction -0.8 %

Module mismatch losses
Loss Fraction (Fixed voltage) 2.5 %

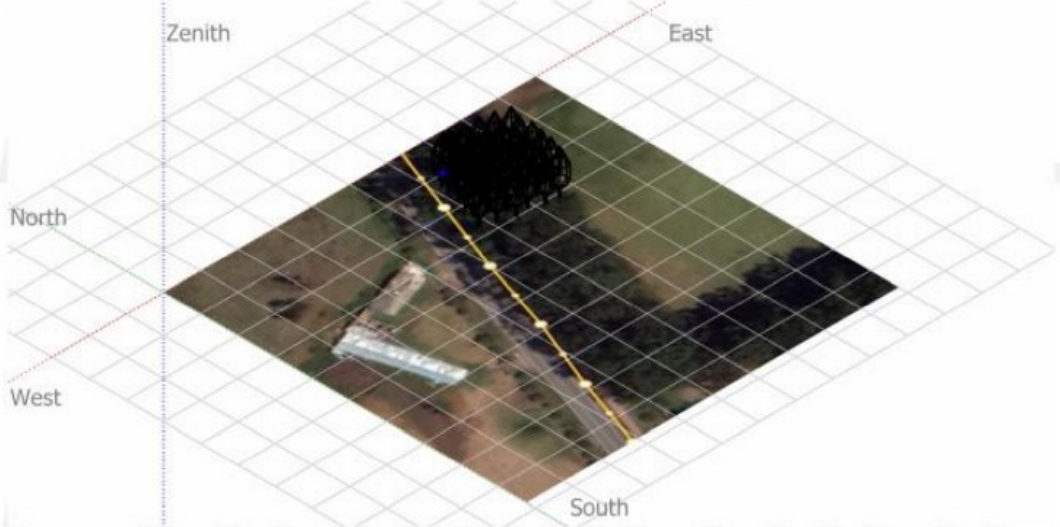
Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.1 %

IAM loss factor
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

Near shadings parameter

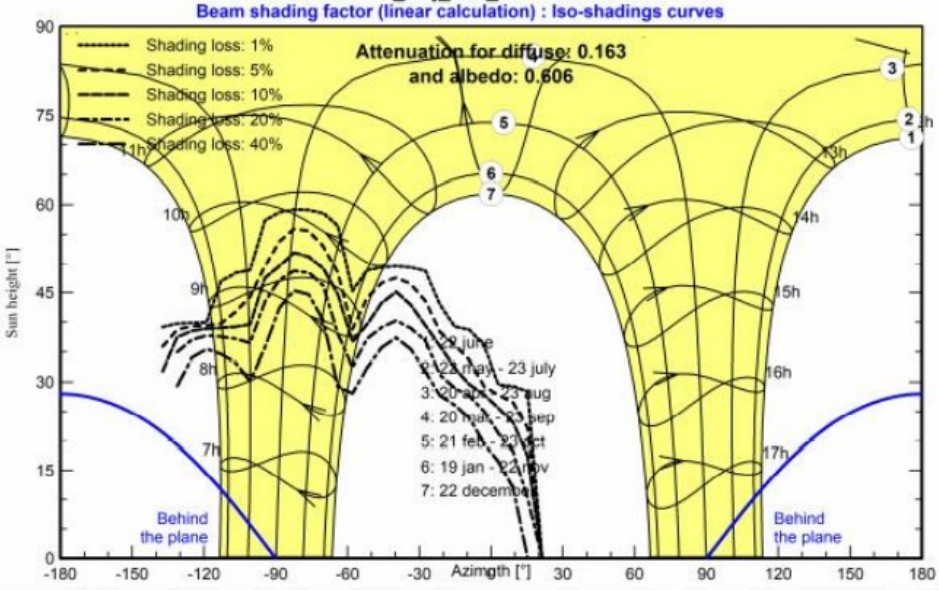
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Est_Boj_Árb_1Lado

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves



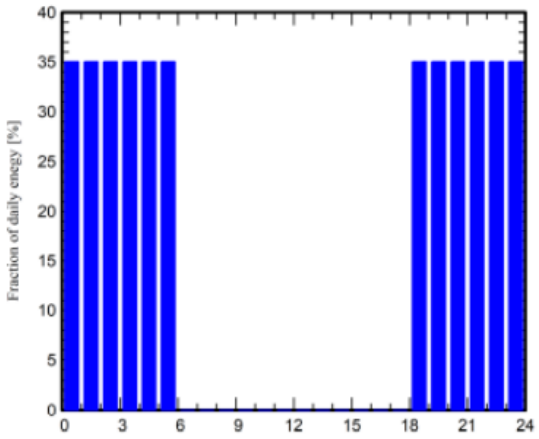
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 0.4 kWh/day

Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lámparas (LED o fluo)	1	35W/lamp	12.0	420
Total daily energy				420Wh/day

Hourly distribution



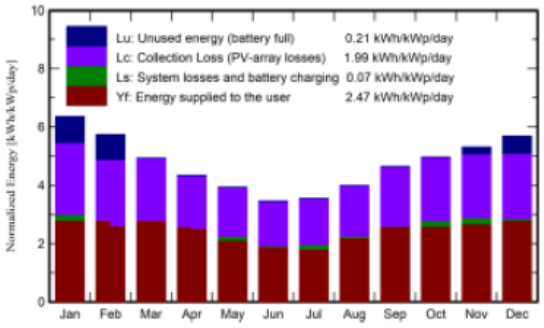
PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL

Main results

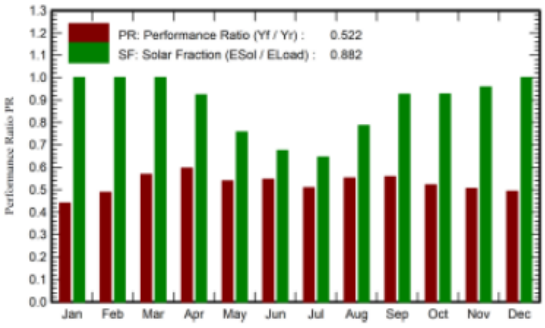
System Production

Available Energy	150.5 kWh/year	Specific production	1003 kWh/kWp/year
Used Energy	135.3 kWh/year	Performance Ratio PR	52.18 %
Excess (unused)	11.4 kWh/year	Solar Fraction SF	88.23 %
Loss of Load		**Battery aging (State of Wear)**	
Time Fraction	12.7 %	Cycles SOW	93.4 %
Missing Energy	18.0 kWh/year	Static SOW	80.1 %
		Battery lifetime	5.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

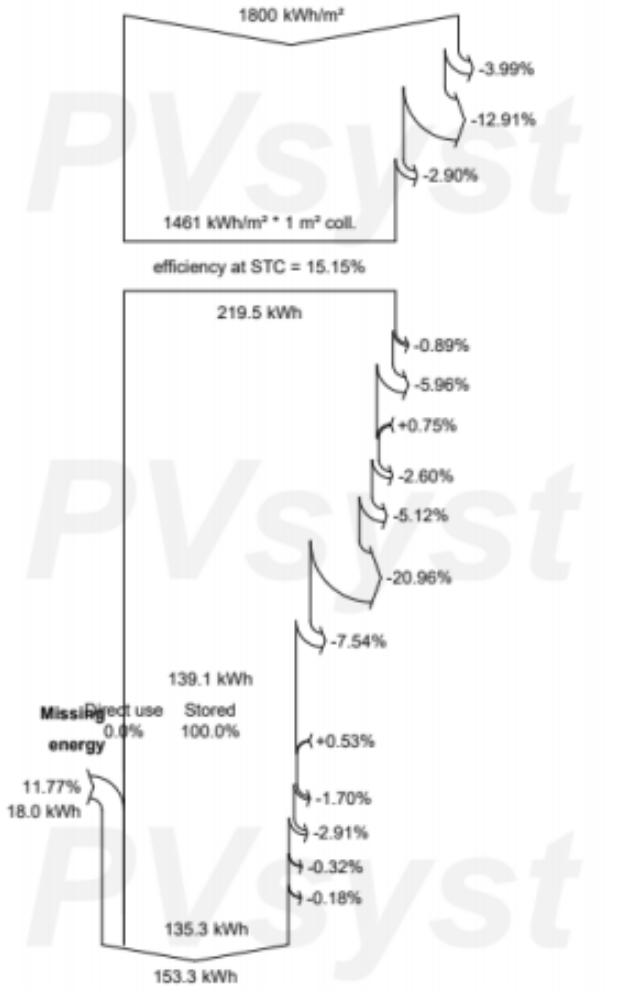
	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	172.9	172.0	18.12	4.124	0.000	13.02	13.02	1.000
February	151.0	136.9	14.48	3.516	0.000	11.76	11.76	1.000
March	158.7	127.1	12.98	0.000	0.000	13.02	13.02	1.000
April	147.7	111.7	11.31	0.000	0.962	11.64	12.60	0.924
May	150.6	103.7	10.49	0.000	3.155	9.87	13.02	0.758
June	133.3	85.9	8.65	0.000	4.098	8.50	12.60	0.675
July	139.6	90.8	9.18	0.000	4.620	8.40	13.02	0.645
August	146.6	104.1	10.52	0.000	2.773	10.25	13.02	0.787
September	150.0	115.3	11.70	0.000	0.941	11.66	12.60	0.925
October	152.1	127.5	13.01	0.000	0.963	12.06	13.02	0.926
November	143.8	135.5	14.03	1.013	0.527	12.07	12.60	0.958
December	153.5	150.8	16.03	2.703	0.000	13.02	13.02	1.000
Year	1799.9	1461.3	150.50	11.357	18.039	135.26	153.30	0.882

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

PVsyst TRIAL

Loss diagram



Global horizontal irradiation

Global incident in coll. plane

Near Shadings: irradiance loss

IAM factor on global

Effective irradiation on collectors

PV conversion

Array nominal energy (at STC effic.)

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

Loss with respect to the MPP running

Unused energy (battery full)

Effective energy at the output of the array

Battery Storage

Battery Stored Energy balance

Battery efficiency loss

Charge/Disch. Current Efficiency Loss

Gassing Current (electrolyte dissociation)

Battery Self-discharge Current

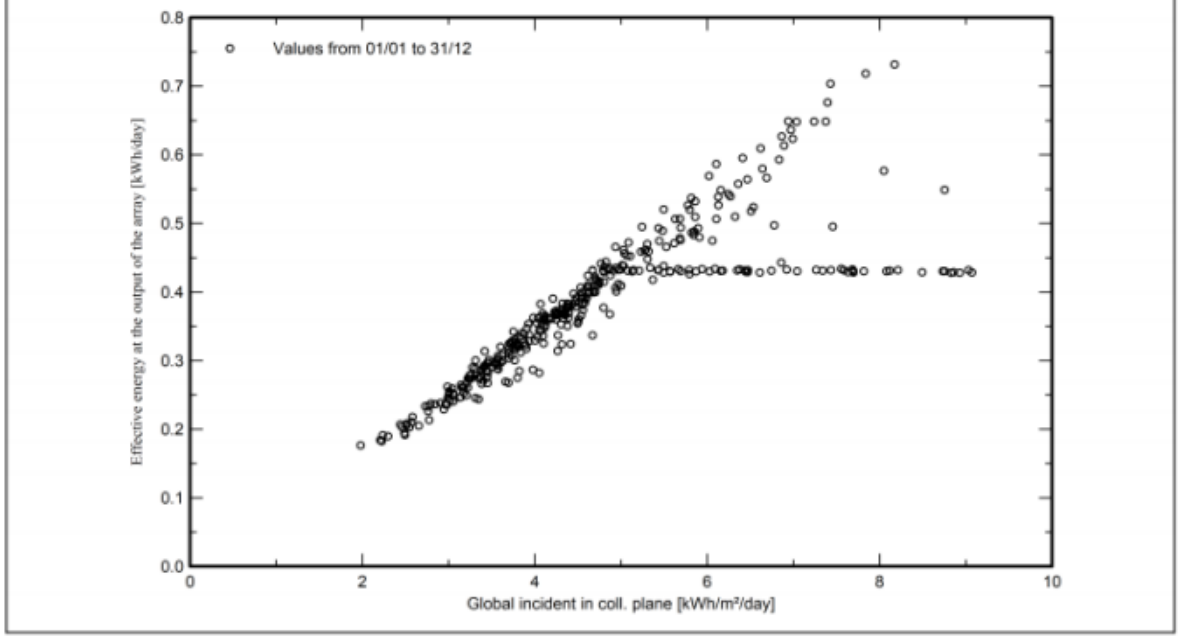
Energy supplied to the user

Energy need of the user (Load)

PVsyst TRIAL

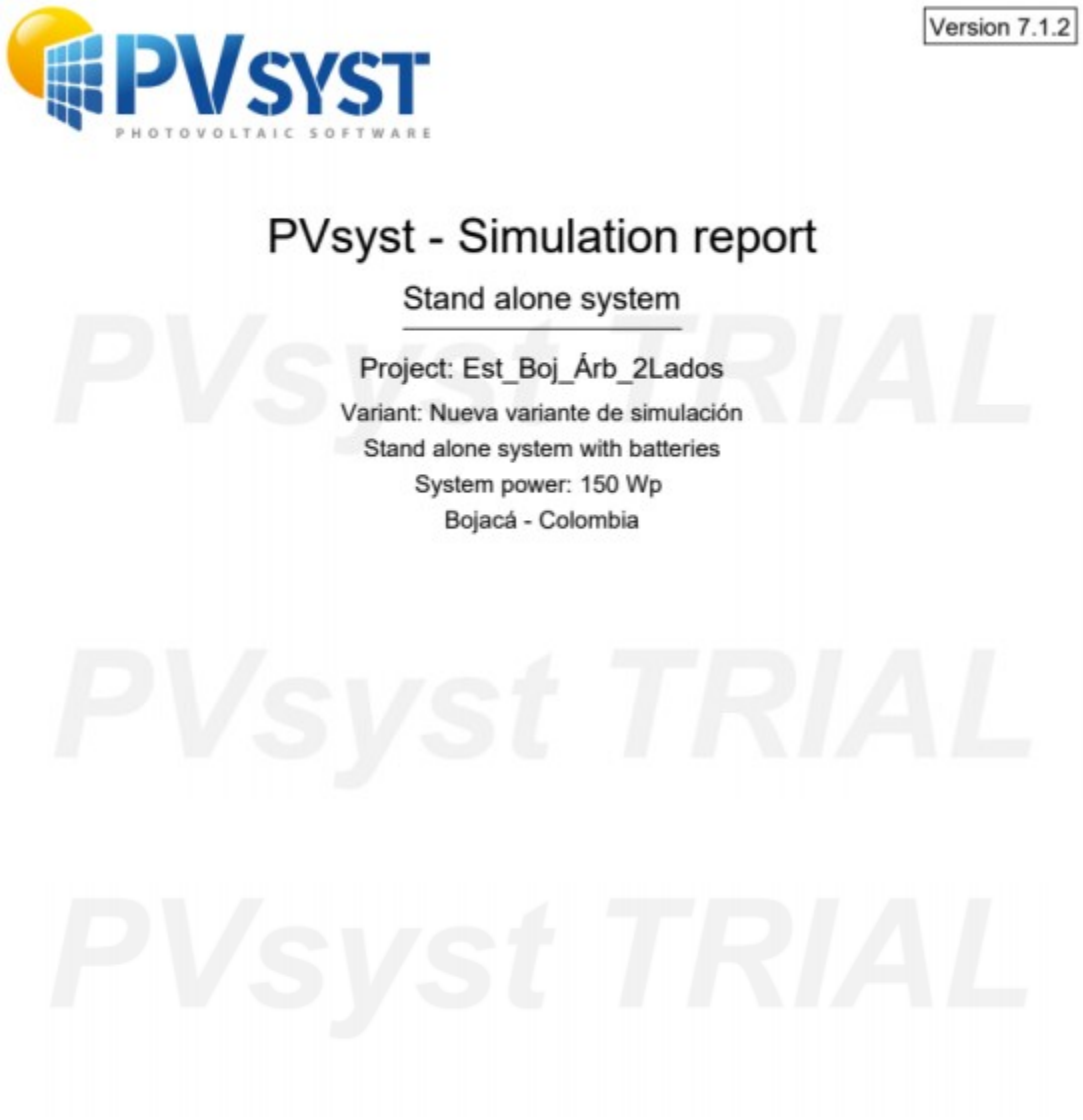
Special graphs

Diagrama entrada/salida diaria



PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL

- Anexo 7: Informe generado software PVSystem con sombras producidas por árboles en ambos costados de la vía.



PVsyst V7.1.2
VC0, Simulation date:
06/01/21 16:49
with v7.1.2

Project summary

Geographical Site
Bojacá
Colombia

Situation

Latitude	4.73 °N
Longitude	-74.35 °W
Altitude	2566 m
Time zone	UTC-5

Project settings

Albedo	0.20

Meteo data
Bojacá
NREL NSRDB Typ. Met. Year PSMv3_1998 to 2016 - TMY

System summary

Stand alone system

Stand alone system with batteries

PV Field Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 28 / 0 °

Near Shadings
Linear shadings

User's needs
Daily household consumers
Constant over the year
Average 0.4 kWh/Day

System information

PV Array

Nb. of modules	1 Unit
Pnom total	150 Wp

Battery pack

Technology	Lead-acid, sealed, AGM
Nb. of units	1 Unit
Voltage	12 V
Capacity	196 Ah

Results summary

Available Energy	163.8 kWh/year	Specific production	1092 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	55.35 %
Used Energy	143.5 kWh/year			Solar Fraction SF	93.59 %

Table of contents

Project and results summary 2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses 3
Near shading definition - Iso-shadings diagram 4
Detailed User's needs 5
Main results 6
Loss diagram 7
Special graphs 8

PVsyst TRIAL

General parameters

Stand alone system

PV Field Orientation
Orientation
Fixed plane
Tilt/Azimuth 28 / 0 °

User's needs
Daily household consumers
Constant over the year
Average 0.4 kWh/Day

Stand alone system with batteries

Models used
Transposition Perez
Diffuse Imported
Circumsolar separate

Near Shadings
Linear shadings

PV Array Characteristics

PV module
Manufacturer Generic
Model Poly 150 Wp 36 cells
(Original PVsyst database)
Unit Nom. Power 150 Wp
Number of PV modules 1 Unit
Nominal (STC) 150 Wp
Modules 1 String x 1 In series
At operating cond. (50°C)
Pmpp 135 Wp
U mpp 16 V
I mpp 8.4 A

Controller
Universal controller
Technology Series
Temp coeff. -5.0 mV/°C/Elem

Total PV power
Nominal (STC) 0 kWp
Total 1 modules
Module area 1.0 m²
Cell area 0.5 m²

Battery
Manufacturer Generic
Model PVX-2120L
Technology Lead-acid, sealed, AGM
Nb. of units 1 Unit
Discharging min. SOC 20.0 %
Stored energy 1.9 kWh
Battery Pack Characteristics
Voltage 12 V
Nominal Capacity 196 Ah (C10)
Temperature External ambient temperature

Battery Management control
Threshold commands as SOC calculation
Charging SOC = 0.92 / 0.75
approx. 13.4 / 12.4 V
Discharging SOC = 0.20 / 0.45
approx. 11.6 / 12.1 V

Array losses

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses
Global array res. 32 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Serie Diode Loss
Voltage drop 0.7 V
Loss Fraction 3.9 % at STC

Module Quality Loss
Loss Fraction -0.8 %

Module mismatch losses
Loss Fraction (Fixed voltage) 2.5 %

Strings Mismatch loss
Loss Fraction 0.1 %

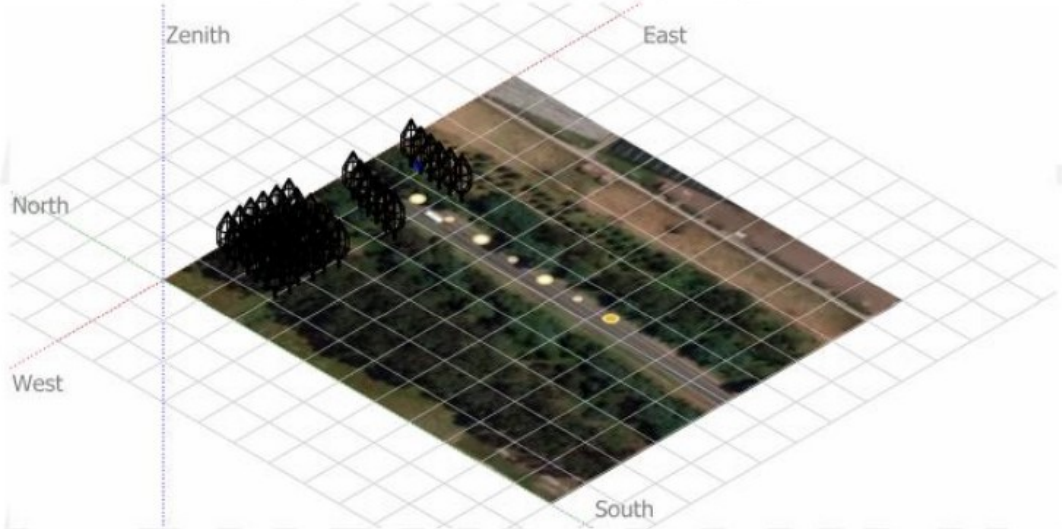
IAM loss factor
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

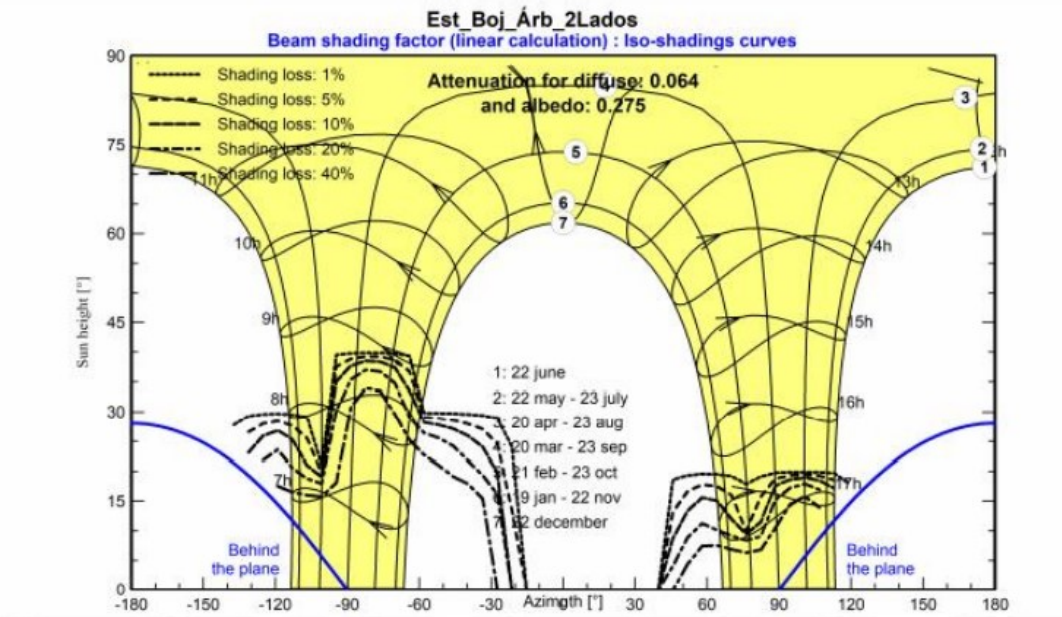
PVsyst TRIAL

Near shadings parameter

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram



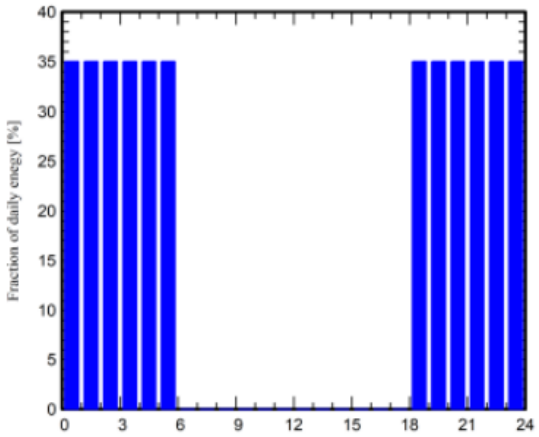
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 0.4 kWh/day

Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lámparas (LED o fluo)	1	35W/lamp	12.0	420
Total daily energy				420Wh/day

Hourly distribution



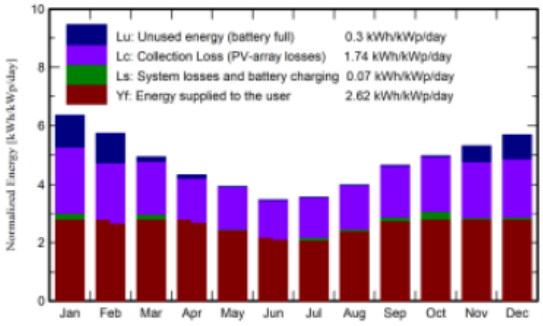
PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL

Main results

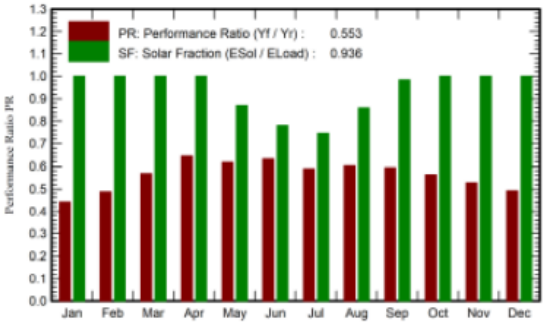
System Production

Available Energy	163.8 kWh/year	Specific production	1092 kWh/kWp/year
Used Energy	143.5 kWh/year	Performance Ratio PR	55.35 %
Excess (unused)	16.6 kWh/year	Solar Fraction SF	93.59 %
Loss of Load		**Battery aging (State of Wear)**	
Time Fraction	6.8 %	Cycles SOW	93.2 %
Missing Energy	9.8 kWh/year	Static SOW	80.1 %
		Battery lifetime	5.0 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

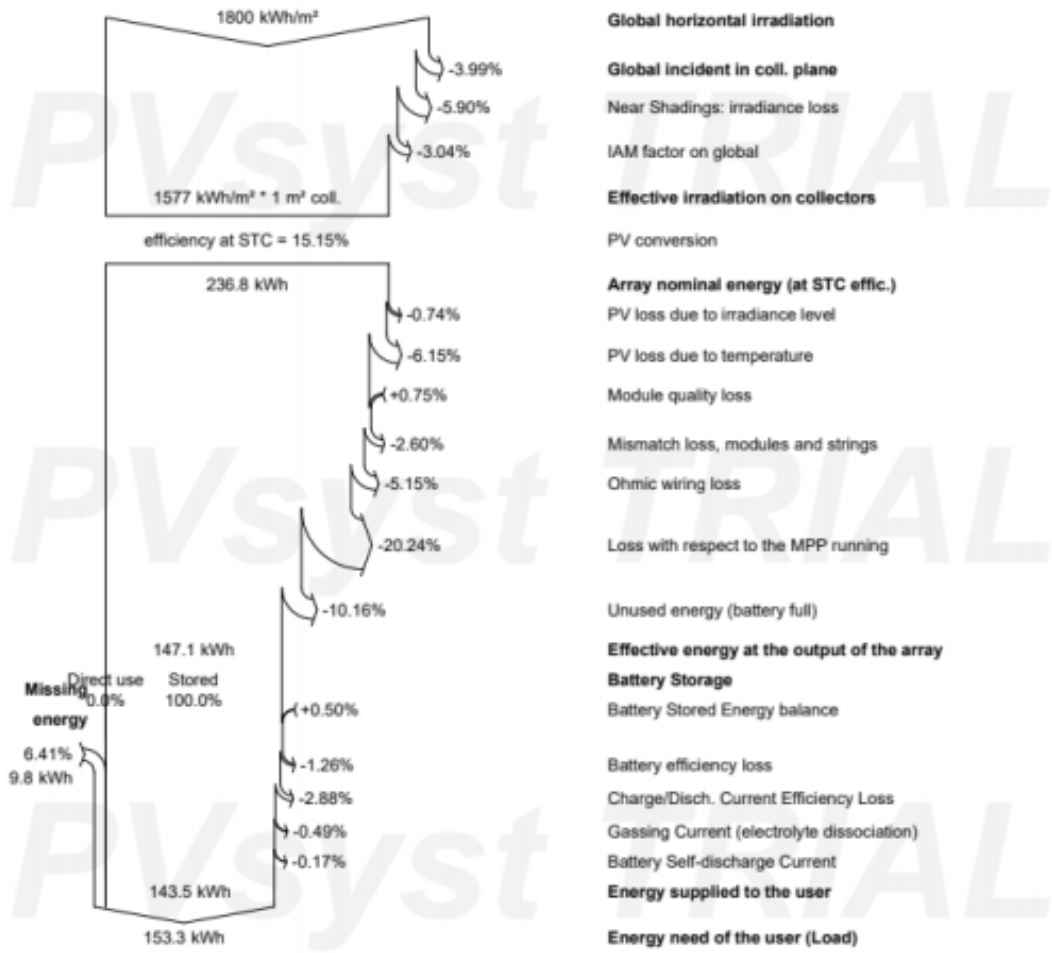
	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	172.9	180.4	19.05	5.034	0.000	13.02	13.02	1.000
February	151.0	145.7	15.42	4.216	0.000	11.76	11.76	1.000
March	158.7	138.3	14.48	0.654	0.000	13.02	13.02	1.000
April	147.7	120.6	12.61	0.488	0.000	12.60	12.60	1.000
May	150.6	112.1	11.39	0.000	1.707	11.31	13.02	0.869
June	133.3	94.0	9.50	0.000	2.755	9.85	12.60	0.781
July	139.6	99.8	10.11	0.000	3.310	9.71	13.02	0.746
August	146.6	113.6	11.45	0.000	1.843	11.18	13.02	0.858
September	150.0	127.2	12.92	0.000	0.210	12.39	12.60	0.983
October	152.1	140.0	14.45	0.087	0.000	13.02	13.02	1.000
November	143.8	144.3	15.24	2.389	0.000	12.60	12.60	1.000
December	153.5	160.9	17.14	3.779	0.000	13.02	13.02	1.000
Year	1799.9	1576.8	163.76	16.645	9.826	143.47	153.30	0.936

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

PVsyst TRIAL

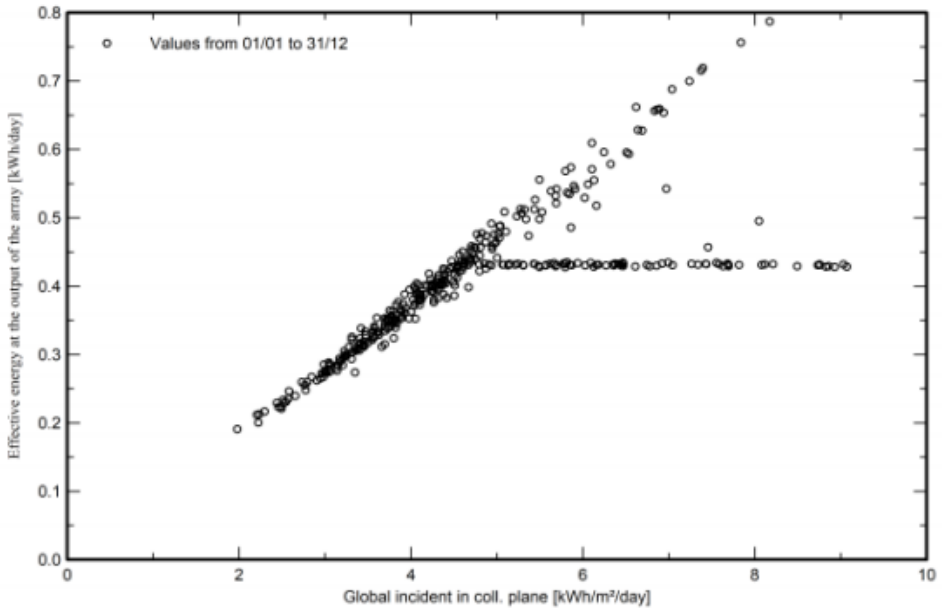
Loss diagram



PVsyst TRIAL

Special graphs

Diagrama entrada/salida diaria



PVsyst TRIAL
PVsyst TRIAL

- Anexo 8: Carta respuesta a requerimiento por parte de Enel-Codensa

* 08598075*
08598075
2021/01/26

Bogotá D. C.,

Señor
RICHARD ESNEIDER REYES ACOSTA
E-Mail: rereyesa@correo.udistrital.edu.co
Teléfono: 302 2821760
Bogotá D. C.,

Asunto: Derecho de Petición
No. 02829932 del 08 de enero de 2021

Respetado señor Reyes.

Reciba un cordial saludo de Enel-Codensa[1]. Para nosotros es muy importante conocer y entender su necesidad, por ello, analizamos su requerimiento el cual da alcance lar radicado No.02817643 del 16 de diciembre de 2020, donde solicita que se faciliten los datos técnicos (corrientes de cortocircuito, potencia, niveles de tensión, etc), de la subestación el corzo (CZ - NA), ubicada cerca a la Vereda El Corzo del municipio de Madrid.

Hemos revisado su petición y al respecto, le indicamos que, la información por usted solicitada, es una información sobre los activos de la compañía, la cual de acuerdo con el artículo 61 del Código de comercio hace parte de los libros de comercio que tiene Enel-Codensa como comerciante, y en consecuencia en virtud del artículo arriba referido dicha información es reservada y no puede ser entregada:

> *"ARTÍCULO 61. EXCEPCIONES AL DERECHO DE RESERVA. Los libros y papeles del comerciante no podrán examinarse por personas distintas de sus propietarios o personas autorizadas para ello, sino para los fines indicados en la Constitución Nacional y mediante orden de autoridad competente.*
> *Lo dispuesto en este artículo no restringirá el derecho de inspección que confiere la ley a los asociados sobre libros y papeles de las compañías comerciales, ni el que corresponda a quienes cumplan funciones de vigilancia o auditoría en las mismas."*

Adicional a lo anterior, de acuerdo con el artículo 24 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo-CPACA., que refiere:

> *"Artículo 24. Informaciones y documentos reservados. Sólo tendrán carácter reservado las informaciones y documentos expresamente sometidos a reserva por la Constitución o la ley, y en especial:*
> *1. Los protegidos por el secreto comercial o industrial.*
> *2. Los relacionados con la defensa o seguridad nacionales.*

[1] *Codensa S.A ESP es parte del Grupo Enel. El prestador del servicio de comercialización y distribución de energía eléctrica continúa siendo CODENSA S.A ESP.*

3. Los amparados por el secreto profesional.
4. Los que involucren derechos a la privacidad e intimidad de las personas, incluidas en las hojas de vida, la historia laboral y los expedientes pensionales y demás registros de personal que obren en los archivos de las instituciones públicas o privadas, así como la historia clínica, salvo que sean solicitados por los propios interesados o por sus apoderados con facultad expresa para acceder a esa información.
5. Los relativos a las condiciones financieras de las operaciones de crédito público y tesorería que realice la Nación, así como a los estudios técnicos de valoración de los activos de la Nación. Estos documentos e informaciones estarán sometidos a reserva por un término de seis (6) meses contados a partir de la realización de la respectiva operación."

Será reservada la información que tenga que ver con la seguridad nacional. En ese sentido, bajo el entendido que la infraestructura de transporte y distribución de energía eléctrica permite asegurar la seguridad de áreas públicas y privadas en el territorio nacional, la información sobre la misma se encuentra sometida a reserva y en consecuencia no es posible acceder a su solicitud.

Si requiere información o tiene alguna inquietud sobre algún punto de esta respuesta, lo invitamos a ingresar a la página de Ene-Codensa www.enel.com.co en la sección Servicio al Cliente, ubicada en la parte inferior de la página en donde un asesor le ayudará a través de nuestro servicio de video llamada o chat en línea.

Finalmente, le informamos que contra la presente comunicación no proceden recursos por tratarse de un acto de carácter informativo, de acuerdo con lo establecido en el artículo 75 Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo y no encontrarse su solicitud enmarcada dentro de las causales establecidas en el Artículo 154 de la ley 142 de 1994.

Como compañía deseamos construir relaciones duraderas con nuestros clientes. Por esta razón, le invitamos a que siga en contacto por cualquiera de nuestros canales de atención.

Reiteramos nuestro deseo de servirle,

Cordialmente,

Firmado digitalmente Sistema Documental Mercurio[2]
Gilberto Alexander Porras Forero
Oficina Peticiones y Recursos
SO36/CENTRO DE SERVICIO AL CLIENTE DE MADRID

Su caso se encuentra en este momento del proceso

[2] *La firma digital que acompaña este documento tiene la misma validez de la firma manuscrita, de acuerdo con lo establecido en el parágrafo del Artículo 28 de la Ley 527 de 1999.*

* 08598075*

08598075
2021/01/26



Contáctenos

Página web www.enel.com.co

Líneas de atención telefónica **7 115 115** en Bogotá, o al **5 115 115** desde fuera de Bogotá

Correo electrónico radicacionescodensa@enel.com

Si requiere la mediación de la Oficina Defensor del Cliente, con gusto será atendido a través de:

- Página web www.enel.com.co/es/personas/defensor-cliente

AVISO DE NOTIFICACIÓN

* 08598075*

08598075
2021/01/26

Señor
RICHARD ESNEIDER REYES ACOSTA
E-Mail: rereyesa@correo.udistrital.edu.co
Teléfono: 302 2821760
Bogotá D. C.,

Asunto: Derecho de Petición
No. 02829932 del 08 de enero de 2021

En cumplimiento de lo dispuesto en el Artículo 69 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo, mediante el presente AVISO le notificamos que, mediante comunicación relacionada, Enel-Codensa dio respuesta a su petición, de la cual se adjunta copia íntegra.

De acuerdo con lo señalado en el Artículo 69 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo la notificación se entiende surtida al finalizar el día siguiente a la desfijación de este AVISO.

Se procede con la fijación del presente aviso el día _____ y se desfija el día _____ _____.

Cordialmente,

Firmado digitalmente Sistema Documental Mercurio[3]
Gilberto Alexander Porras Forero
Oficina Peticiones y Recursos
SO36/CENTRO DE SERVICIO AL CLIENTE DE MADRID

[3] *La firma digital que acompaña este documento tiene la misma validez de la firma manuscrita, de acuerdo con lo establecido en el parágrafo del Artículo 28 de la Ley 527 de 1999.*