

Diseño de un sistema de iluminación para fachadas y exteriores del edificio de ingeniería eléctrica de la UIS basado en energía solar FV

María Fernanda Ariza Riaño y Jhon Jairo Gelves Ruiz

Presentado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor en Ciencias con Énfasis en Ingeniería Eléctrica

Codirector:

Michael Arenas Florez

Magister en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

*A Dios por su infinito amor, por conceder los deseos de mi corazón y brindarme la
inteligencia para afrontar cada prueba de mi vida.*

*A mi madre Gilma Castañeda Rincón y padre Albeiro Riaño por ser mi inspiración, por sus
consejos los cuales fueron motivación para finalizar este proceso, por su amor y esfuerzo
para brindarme siempre lo mejor, por depositar su confianza y creer siempre en mí.*

*A mi novio y mejor amigo Eduardo por su compañía, por su amor, por su apoyo y por ser ese
elemento tan importante para mí a lo largo de este proceso.*

Maria Fernanda Ariza Riaño

Gracias Dios porque este logro ahora es una realidad.

Gracias a mi familia, amigos y orientadores, los cuales me ayudaron a persistir y creer.

*Gracias a mi tío Pedro, quien fue mi modelo a seguir como Ingeniero cuando el sueño solo
empezaba.*

Gracias a mi amada abuela, mi estrella en el cielo.

Me quedo corto, pero GRACIAS a todos.

Jhon Jairo Gelves Ruiz

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Generalidades.....	16
1.1 Objetivo general.....	16
1.2 Objetivos específicos	16
2. Descripción general	17
2.1 Descripción general de los exteriores del edificio de ingeniería eléctrica.....	17
2.2 Descripción general de fachadas.....	19
2.3 Delimitación de área	20
2.3.1 Estado actual de la instalación eléctrica del área delimitada	24
2.3.2 Niveles de iluminación de los exteriores	26
3. Parámetros generales de diseño	31
3.1 Irradiancia solar	32
3.2 Factor de sombra.....	33
3.3 Temperatura de color	34
4. Diseño general del sistema de iluminación para la fachada y exteriores del edificio E3T.....	35
4.1 Ubicación y descripción del diseño de luminarias para exteriores del edificio E3T	35
4.2 Ubicación y descripción del diseño del sistema fotovoltaico para alimentación de luminarias de exteriores del edificio E3T	38
5. Selección de luminarias	40

5.1 Primera propuesta de iluminación - Pathe g/r3 Led 1W - Proyector Led cob 8W - Led solar integrada S40 40W	41
5.1.1 Balas Led primera propuesta	41
5.1.2 Proyectores primera propuesta.....	42
5.1.3 Led solar integrada S40 primera propuesta	43
5.1.4 Simulación de la primera propuesta de diseño con el software DIALux.....	44
5.2 Segunda propuesta de iluminación - Pathe g/r3 Led 4.4W - Proyector Led cob 12W - Led solar integrada S40 40W.....	49
5.2.1 Balas Led segunda propuesta.....	50
5.2.2 Proyectores segunda propuesta	51
5.2.3 Led solar integrada S40 segunda propuesta.....	52
5.2.4 Simulación de la segunda propuesta de diseño con el software DIALux	53
6. Carga instalada.....	58
6.1 Carga instalada para primera propuesta de diseño.....	59
6.2 Carga instalada para segunda propuesta de diseño	60
7. Cálculos para el diseño del sistema fotovoltaico autónomo	62
7.1 Orientación e inclinación de los paneles.....	63
7.1.1 Orientación solar	63
7.1.2 Inclinación de paneles (β)	64
7.2 Dimensionamiento y selección del panel solar para la primera propuesta	66
7.2.1 Controlador de carga seleccionado para la primera propuesta	68
7.2.2 Inversor seleccionado para la primera propuesta.....	69
7.2.3 Batería seleccionada para la primera propuesta.....	71

7.2.4 Conductor AC seleccionado para la primera propuesta.....	73
7.2.5 Conductor DC seleccionado para la primera propuesta.....	76
7.2.5 Ducteria seleccionada para la primera propuesta.....	78
7.3 Dimensionamiento y selección del panel solar para la segunda propuesta	79
7.3.1 Controlador de carga seleccionado para la segunda propuesta.....	82
7.3.2 Inversor seleccionado para la segunda propuesta	83
7.3.1 Batería seleccionada para la segunda propuesta	85
7.3.4 Conductor AC seleccionado para la segunda propuesta	88
7.3.5 Conductor DC seleccionado para la segunda propuesta	91
7.3.6 Ducteria seleccionada para la segunda propuesta.....	92
8. Vida útil de los equipos seleccionados	93
9. Presupuesto de diseños de iluminación propuestos	93
10. Selección de la mejor propuesta de iluminación para el diseño	95
11. Conclusiones.....	99
Referencias bibliográficas.....	101

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Plano general en AutoCAD exteriores del edificio de Ingeniería Eléctrica.	18
Figura 2. Plano general en AutoCAD de la fachada del edificio de Ingeniería Eléctrica.....	19
Figura 3. Modelado arquitectónico de la fachada del edificio de ingeniería eléctrica	20
Figura 4. Plano general en AutoCAD con la delimitación de área a diseñar.....	22
Figura 5. Modelado arquitectónico de la vista frontal	22
Figura 6. Modelado arquitectónico de la vista frontal, entrada al edificio	23
Figura 7. Modelado arquitectónico de la vista posterior.....	23
Figura 8. Zona frontal y lateral derecho del edificio E3T.....	24
Figura 9. Zona frontal del edificio E3T	25
Figura 10. Zona frontal y lateral izquierdo del edificio E3T	25
Figura 11. Divisor de carretera que separa el parqueadero de la escuela con la vía de acceso vehicular.....	26
Figura 12. Zona posterior del edificio E3T.....	26
Figura 13. Luxómetro amprobe LM.80 Digital Light Meter	27
Figura 14. Plano general en AutoCAD de muestras tomadas con luxómetro en los alrededores del edificio de Ingeniería Eléctrica.	29
Figura 15. Plano general en AutoCAD del promedio por zonas de las muestras tomadas con luxómetro en los alrededores del edificio de Ingeniería Eléctrica.	30
Figura 16. Fotometría mínima en áreas críticas distintas a las vías vehiculares.....	31

Figura 17. Grafica hora solar pico (Nasa Power)	33
Figura 18. Escala de temperatura de color (kelvin)	34
Figura 19. Plano general en AutoCAD del diseño general de iluminación de balas led y reflectores para fachada	36
Figura 20. Plano en AutoCAD vista detallada del diseño general de iluminación de reflectores para la fachada	37
Figura 21. Plano general en AutoCAD de las luminarias led solares.	38
Figura 22. Estructura o soporte para paneles solares y estacionamiento de bicicletas	39
Figura 23. Estructura o soporte en forma de techo para paneles solares y estacionamiento de bicicletas	40
Figura 24. Fotometría pathe g/r3 1 [W] Led 3K wide 4069274	42
Figura 25. Simulación con enfoque de vista general de la primera propuesta implementando el programa DIALux.....	45
Figura 26. Simulación con enfoque de vista de la fachada de la primera propuesta implementando el programa DIALux	45
Figura 27. Simulación con enfoque de vista frontal-superior de la primera propuesta implementando el programa DIALux	46
Figura 28. Simulación con enfoque de vista lateral izquierda-superior de la primera propuesta implementando el programa DIALux	46
Figura 29. Simulación con enfoque de vista lateral derecha-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux	47
Figura 30. Simulación con enfoque de vista lateral izquierda-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux	47

Figura 31. Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista general de la primera propuesta implementando el programa DIALux	48
Figura 32. Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista lateral izquierda-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux	48
Figura 33. Simulación de curvas fotométricas a través de vista superior de la primera propuesta implementando el programa DIALux	49
Figura 34. Fotometría pathe g/r3 4.4 [W] Led 3K wide 4070058	51
Figura 35. Simulación con enfoque de vista general de la segunda propuesta implementando el programa DIALux	54
Figura 36. Simulación con enfoque de vista de la fachada de la segunda propuesta implementando el programa DIALux	54
Figura 37. Simulación con enfoque de vista frontal-superior de la segunda propuesta implementando el programa de DIALux	55
Figura 38. Simulación con enfoque de vista lateral izquierda-superior de la segunda propuesta implementando el programa de DIALux	55
Figura 39. Simulación con enfoque de vista lateral derecha-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux	56
Figura 40. Simulación con enfoque de vista lateral derecha-trasera de la segunda propuesta implementando el programa de DIALux	56
Figura 41. Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista general de la segunda propuesta implementando el programa DIALux	57
Figura 42. Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista lateral izquierda-trasera de la segunda propuesta implementando el programa DIALux	57

Figura 43. Simulación de curvas fotométricas a través de vista superior de la segunda propuesta implementando el programa DIALux	58
Figura 44. Esquema general del sistema de generación solar autónomo.....	63
Figura 45. Esquema de orientación y ángulo de inclinación	64
Figura 46. Latitud y longitud de la tierra	65
Figura 47. Latitud y magnitud de la ubicación del Panel Solar Fotovoltaico.....	65
Figura 48. Panel Solar 210W 12V Monocristalino Restar Solar	67
Figura 49. Especificaciones eléctricas del panel solar seleccionado para el primer diseño propuesto.....	67
Figura 50. Controlador de carga 20A PWM 12 - 24V LCD.....	68
Figura 51. Inversor Phoenix 12/250 VE. Direct	70
Figura 52. Características del inversor seleccionado para la primera propuesta	70
Figura 53. Batería TB12-200 Gel (12V 200AH).....	72
Figura 54. Características de la batería seleccionada primera propuesta.....	72
Figura 55. Especificaciones de la batería seleccionada primera propuesta	73
Figura 56. Tabla 310-16 de la NTC 2050	74
Figura 57. Conductor de alambre THHN/THWN seleccionado / CENTELSA	76
Figura 58. Conductor DC seleccionado	77
Figura 59. Características de conductor DC	77
Figura 60. Calibre seleccionado de la ducteria	79
Figura 61. Tubo PVC SCH40 de ½” seleccionado	79
Figura 62. Panel Solar 390W 24V Monocristalino PERC Eco Green.....	81

Figura 63. Especificaciones eléctricas del panel solar seleccionado para el segundo diseño propuesto.....	81
Figura 64. Controlador de carga 30A ML2430/ML2440	82
Figura 65. Características del controlador seleccionado para la primera propuesta.....	83
Figura 66. Inversor Phoenix 12/375 VE. Direct	84
Figura 67. Características del inversor seleccionado para la segunda propuesta	85
Figura 68. Batería TB12-150 Gel (12V 150AH).....	86
Figura 69. Características de la batería seleccionada segunda propuesta.....	87
Figura 70. Especificaciones de la batería seleccionada segunda propuesta.....	87
Figura 71. Tabla 310-16 de la NTC 2050	89
Figura 72. Conductor de alambre THHN/THWN seleccionado.....	91
Figura 73. Calibre seleccionado de la ducteria	92
Figura 74. Vida útil de los equipos	93
Figura 75. Diagrama unifilar de la primera propuesta seleccionada	98

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones del equipo de medición utilizado	28
Tabla 2. Datos de irradiancia solar de cada mes (Nasa Power)	32
Tabla 3. Especificaciones técnicas de balas led seleccionadas primera propuesta	41
Tabla 4. Especificaciones técnicas de proyector seleccionado primera propuesta	43
Tabla 5. Especificaciones técnicas de led solar integrada primera propuesta	44
Tabla 6. Especificaciones técnicas de balas led seleccionadas segunda propuesta	50
Tabla 7. Especificaciones técnicas de proyector seleccionado segunda propuesta	52
Tabla 8. Especificaciones técnicas de led solar seleccionada segunda propuesta	53
Tabla 9. Carga total instalada para el panel solar fotovoltaico	60
Tabla 10. Carga total de alumbrado público solar independiente y autosustentable	60
Tabla 11. Carga total instalada para el panel solar fotovoltaico	61
Tabla 12. Carga total de alumbrado público solar independiente y autosustentable	62
Tabla 13. Características del controlador seleccionado para la primera propuesta	68
Tabla 14. Cálculos de regulación primera propuesta	75
Tabla 15. Requisitos mínimos de enterramiento en instalaciones de 0 V a 600 V nominales	78
Tabla 16. Cálculos de regulación segunda propuesta	89
Tabla 17. Presupuesto de la primera propuesta	94
Tabla 18. Presupuesto de la segunda propuesta	94
Tabla 19. Ventajas y desventajas de las dos propuestas de diseño	97

Resumen

Título: Diseño de un sistema de iluminación para fachadas y exteriores del edificio de ingeniería eléctrica de la UIS basado en energía solar FV *

Autores: María Fernanda Ariza Riaño y Jhon Jairo Gelves Ruiz **

Palabras Clave: AutoCAD, DIALux, iluminación, sistema fotovoltaico, E3T

Descripción

Actualmente nuestro planeta sufre una crisis ambiental, la cual es notable por los cambios climáticos y deterioros en los recursos naturales que se han venido presentando. Como estrategia para la solución de esta problemática, se promueve la disminución del uso de recursos no renovables en donde la energía solar fotovoltaica ha tenido gran aceptación en el actual proceso de transición energética.

Este trabajo de grado se ha desarrollado con el propósito de fomentar el uso de las energías renovables, contribuyendo de manera positiva a la mejora de los espacios de la universidad brindando seguridad y sensación de bienestar a los transeúntes a través del diseño de un sistema de iluminación para fachadas y exteriores del edificio de ingeniería eléctrica de la UIS basado en energía solar FV, respetando los cánones normativos actuales como lo son el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) y la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), haciendo uso de los software DIALux y AutoCAD para representar de manera más detallada el diseño propuesto.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga Doctor en Ciencias con Énfasis en Ingeniería Eléctrica Codirector: Michael Arenas Florez Magister en Ingeniería Eléctrica

Abstract

Title: Design of a lighting system for facades and exteriors of the electrical engineering building of the UIS based on solar PV energy *

Authors: María Fernanda Ariza Riaño y Jhon Jairo Gelves Ruiz **

Keywords: AutoCAD, DIALux, lighting, photovoltaic system, E3T.

Description

Currently our planet is suffering an environmental crisis, which is notable for the climate changes and deterioration of natural resources that has been occurring. As a strategy to solve this problem, the reduction of the use of non-renewable resources is promoted, where photovoltaic solar energy has been widely accepted in the current energy transition process.

This degree work has been developed with the purpose of promoting the use of renewable energies, contributing positively to the improvement of university spaces, providing safety and a sense of well-being to passers-by through the design of a lighting system for facades and exteriors of the electrical engineering building of the Industrial University of Santander (UIS) based on solar PV energy, respecting the current normative canons such as the Technical Regulation of Lighting and Public Lighting (RETILAP) and the Colombian Technical Standard (NTC 2050), making use of DIALux and AutoCAD software to represent the proposed design in more detail.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga Doctor en Ciencias con Énfasis en Ingeniería Eléctrica Codirector: Michael Arenas Florez Magister en Ingeniería Eléctrica

Introducción

En la actualidad nuestro planeta sufre una crisis ambiental que amenaza a las futuras generaciones; además, son notables los cambios que se han venido presentando en el clima (Corredor, 2018) y el deterioro que representan éstos en los recursos naturales. Parte estratégica de empezar a solucionar esta problemática, radica en la concientización de las personas (Severiche-Sierra, Gómez-Bustamante, & Jaimes-Morales, 2016), otra iniciativa es buscar la disminución del uso de recursos no renovables e implementar nuevos mecanismos que contribuyan de manera positiva a este cambio.

La energía solar fotovoltaica es un recurso renovable que ha tenido gran acogida como alternativa de solventar con eficiencia la transición energética que se está viviendo; de igual forma, los sistemas fotovoltaicos han avanzado rápidamente (Plá, Bolzi, & Durán, 2018) en el aprovechamiento del recurso solar como fuente principal e inagotable.

En Colombia, las características geográficas han permitido que el recurso hídrico sea la fuente principal de generación de energía eléctrica; sin embargo, se realizó un salto histórico al asegurar 14 proyectos eólicos y solares (Ministerio de Minas y Energía, 2021, pág. 6) que confirman una política de acciones abiertas a las diferentes energías renovables. Esta circunstancia permite contrarrestar la vulnerabilidad ante los eventos climáticos, que son la principal falencia en la concentración de los recursos hídricos (Ministerio de Minas y Energía, 2020, pág. 14).

La universidad industrial de Santander siempre se ha esforzado por mantener sus instalaciones en las mejores condiciones, brindando espacios atractivos, cómodos y seguros, con el fin de estimular la sensación de bienestar y seguridad a toda la comunidad UIS. En los espacios

adyacentes a la escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones se identificaron deficiencias en el sistema de iluminación, por tal motivo, con el presente trabajo de investigación se pretende modernizar los exteriores, actualizando las instalaciones eléctricas con el propósito de mejorar estos espacios de gran concurrencia especialmente para las horas nocturnas.

Dicho lo anterior, con el fin de contribuir a la mejora de los espacios de la universidad en la presente investigación se realizará el diseño de un sistema de iluminación para fachadas y exteriores del edificio E3T implementando el uso de energía solar FV como fuente de alimentación, para así fomentar el uso de las energías renovables. con la finalidad de estimular la sensación de bienestar (Krautter Martin, 2009) y seguridad, a través de espacios placenteros, igualmente brindando prevención de posibles accidentes especialmente en horas nocturnas, a su vez vinculando la energía solar FV

Agradecemos a nuestro director y codirector por orientarnos y brindarnos la oportunidad de poder contribuir positiva y eficazmente al mejoramiento y modernización de la Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones, de lo cual nos sentimos orgullosos como egresados UIS.

1. Generalidades

1.1 Objetivo general

Realizar el diseño de un sistema de iluminación para las fachadas y exteriores del edificio de ingeniería eléctrica de la UIS con fines decorativos y de seguridad, aprovechando la energía solar FV como fuente de alimentación.

1.2 Objetivos específicos

Identificar el problema definiendo la necesidad y estableciendo el alcance del diseño.

Establecer los parámetros y las restricciones de los diseños a nivel técnico, tiempo y costos.

Proponer dos alternativas de solución para el diseño de iluminación de las fachadas y exteriores del edificio E3T, implementando energía solar FV, dando cumplimiento a la normativa RETILAP y ponderando la mejor solución.

Desarrollar los entregables del diseño seleccionado, incluyendo memorias de cálculo, planos utilizando software DIALux y presupuesto de inversión.

2. Descripción general

En este capítulo, se presenta en detalle el estado actual de las instalaciones eléctricas asociadas a los ambientes académicos y de los alrededores de la escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones.

Los planos arquitectónicos de la zona se encontraban desactualizados, en algunos casos no había información oficial sobre las instalaciones eléctricas ni de las áreas boscosas, por ende, fue necesaria la realización del levantamiento en sitio de la mayor parte de la información.

2.1 Descripción general de los exteriores del edificio de ingeniería eléctrica

El exterior del edificio de ingeniería eléctrica tiene una amplia zona verde a su alrededor, hacía los laterales derecho e izquierdo de dicho edificio se encuentran dos senderos de acceso a la zona del bosque el cual está formado por un extenso terreno frondoso, en el costado izquierdo también se encuentra ubicada la escuela de ingeniería industrial y en el costado derecho el taller de diseño industrial. En la figura 1 se muestra en detalle la ubicación de las diferentes zonas que abarcan los alrededores mencionados anteriormente de la escuela de ingeniería eléctrica conformando así el bosque, tal y como sigue:

Figura 1.

Plano general en AutoCAD exteriores del edificio de Ingeniería Eléctrica.



1) Edificio LAT E3T. Laboratorio de alta tensión perteneciente a la universidad industrial de Santander, donde se desempeñan las prácticas de laboratorio para estudiantes de pregrado, maestría y doctorado en ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones.

2) Laboratorio de Hidráulica

3) Taller de diseño industrial

4) Edificio de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones de la universidad industrial de Santander

5) Edificio de ingeniería industrial

6) Módulo de lectura del bosque

7) Cafetería bienestar bosque

2.2 Descripción general de fachadas

La fachada del edificio E3T está conformada por una parte frontal cuyo diámetro es de 53.3 metros, la parte posterior de 53 metros, la parte lateral derecha de 6.35 metros y la parte lateral izquierda de 9 metros, en este espacio predomina actualmente el color blanco y un pequeño porcentaje de gris.

En la figura 2 se muestra el plano general en AutoCAD con las respectivas medidas de la fachada del edificio y en la figura 3 se observa una vista arquitectónica de la fachada del edificio de ingeniería eléctrica tal y como sigue:

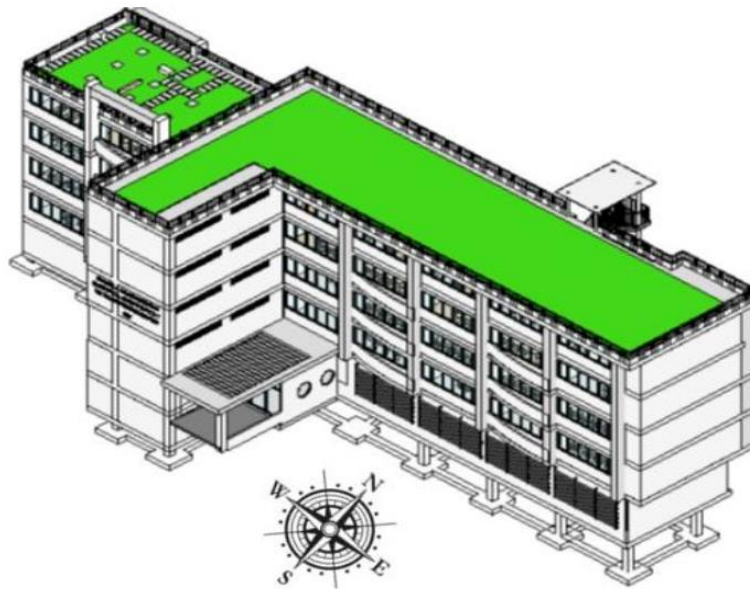
Figura 2.

Plano general en AutoCAD de la fachada del edificio de Ingeniería Eléctrica.



Figura 3.

Modelado arquitectónico de la fachada del edificio de ingeniería eléctrica



Nota: Tomada de BIM (2020) Diseño de la instalación eléctrica del edificio de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, implementando la metodología

2.3 Delimitación de área

Para este proyecto se delimitó un área de aproximadamente 1200 m² en donde se realizará el diseño de iluminación para fachadas y exteriores del edificio de ingeniería eléctrica de la UIS basado en energía solar FV. Se utilizó como zona delimitante todo el contorno del edificio e3t abarcando las áreas peatonales de mayor concurrencia como lo son la parte lateral izquierda donde se encuentra el edificio de ingeniería industrial, la parte lateral derecha en donde se ubica el taller de diseño industrial junto con el laboratorio de hidráulica, los cuales comunican con el bosque, así mismo, la parte trasera que contiene el pasillo junto con las escaleras de evacuación de emergencia

y la parte frontal del edificio incluyendo el divisor de carretera que separa el parqueadero de la escuela con la vía de acceso vehicular.

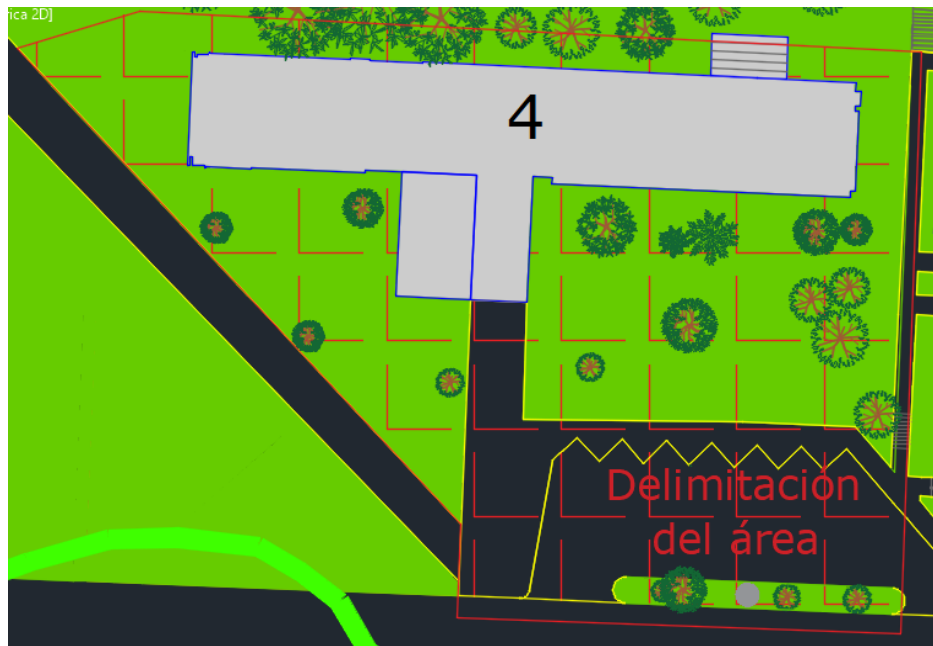
Para la parte posterior del edificio E3T que abarca el bosque, no se considera en la delimitación del área en vista de lo arduo que es el terreno, ya que por tal motivo no posee senderos peatonales debido a la abundancia de árboles que limitan el trazado de uno. Por consiguiente, para la implementación del sistema fotovoltaico es una limitante esta zona boscosa la cual requiere acceso directo a la luz solar para el óptimo funcionamiento de éste, siendo este un lugar en donde se contempla la escasez de este recurso indispensable.

La fachada vista de manera frontal contiene la entrada principal, las ventanas correspondientes a espacios de aulas y el letrero que abarca el nombre del edificio. El área que se abordará en la fachada del edificio E3T será la zona que comprende el letrero mencionado anteriormente, para lo cual se utilizará un espacio reducido que permita incorporar una iluminación que resalte el nombre del edificio.

Se observa en la figura 4 el plano en AutoCAD del área delimitada seleccionada para el diseño de iluminación. En la figura 5 se muestra el modelado arquitectónico de la vista frontal. En la figura 6 se detalla la vista del modelado arquitectónico de la entrada principal y por último en la figura 7 se observa el modelado arquitectónico de la vista posterior del edificio.

Figura 4.

Plano general en AutoCAD con la delimitación de área a diseñar.

**Figura 5.**

Modelado arquitectónico de la vista frontal



Nota: Tomada de BIM (2020) Diseño de la instalación eléctrica del edificio de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, implementando la metodología

Figura 6.

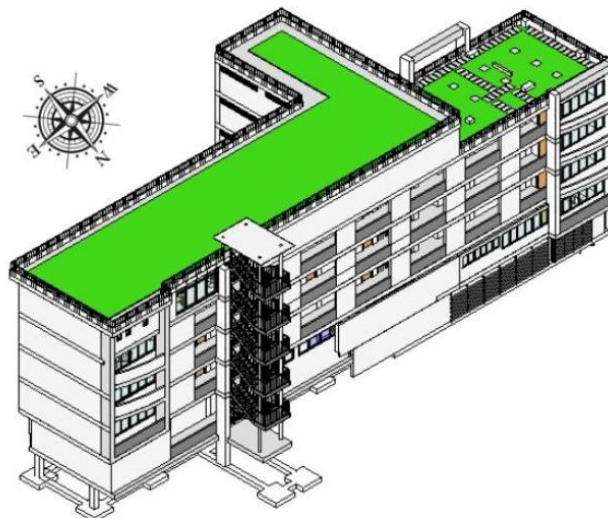
Modelado arquitectónico de la vista frontal, entrada al edificio



Nota: Tomada de BIM (2020) Diseño de la instalación eléctrica del edificio de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, implementando la metodología

Figura 7.

Modelado arquitectónico de la vista posterior



Nota: Tomada de BIM (2020) Diseño de la instalación eléctrica del edificio de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, implementando la metodología

2.3.1 Estado actual de la instalación eléctrica del área delimitada

Mediante las visitas realizadas a los exteriores del edificio E3T, se realizó una inspección preliminar de las instalaciones eléctricas, donde se revisó de manera general el estado actual del sistema de iluminación. Para el reconocimiento de las instalaciones eléctricas actuales se efectuó un enfoque en la fachada y exteriores, en los cuales se observaron carencias en el sistema de iluminación en los horarios nocturnos.

En el siguiente registro fotográfico se aprecian las diferentes áreas delimitadas en horas del día y de la noche de los exteriores de la escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones con carencias en el sistema de iluminación.

Figura 8.

Zona frontal y lateral derecho del edificio E3T



Figura 9.

Zona frontal del edificio E3T

**Figura 10.**

Zona frontal y lateral izquierdo del edificio E3T



Figura 11.

Divisor de carretera que separa el parqueadero de la escuela con la vía de acceso vehicular

**Figura 12.**

Zona posterior del edificio E3T



2.3.2 Niveles de iluminación de los exteriores

El reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP) tiene por objeto primar la seguridad y la protección de la vida humana, animal, vegetal y del medio ambiente,

garantizando los niveles y calidades de la energía lumínica requerida para la actividad visual en distintos escenarios.

Actualmente los exteriores del edificio E3T no cuentan con un diseño de iluminación el cual permita transitar de manera segura durante las horas de la noche, así mismo, la fachada del edificio carece de representatividad nocturna la cual es de suma importancia para la estimulación en los espacios propicios que contribuyen al mejoramiento y den la sensación de confort a los transeúntes. Con el fin de soportar lo dicho anteriormente, se procedió a hacer el levantamiento con un luxómetro marca: Amprobe LM-80 Digital Light Meter de propiedad de División de Planta Física de la UIS. En la imagen 6 se muestra el instrumento de medición utilizado y en la Tabla 1 las especificaciones técnicas del mismo.

Figura 13.

Luxómetro amprobe LM.80 Digital Light Meter



Tabla 1.

Especificaciones del equipo de medición utilizado

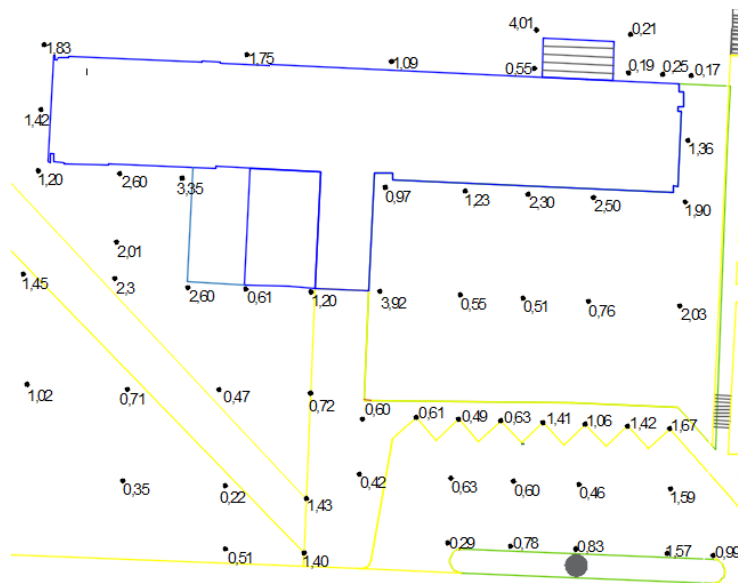
	Especificaciones
Display	LCD de 3-1/2 dígitos
Rango de medición	20, 200, 2000 y 20 000 lux/fc (rango de lectura de 20 000 lux/fc x1Q)
Pantalla de sobre rango	Se muestra el dígito más alto de “1”
Exactitud	±3 % de lectura ± 0,5 % fondo de escala (±4% rdg±10 dgts como rango >10,000 lux/fc) (calibrado para lámpara incandescente estándar a temperatura de color 2856K)
Repetibilidad	±2%
Característica de temperatura	±0,1 % I °C
Tasa de medición	Aproximadamente 2,0 veces/seg.
Temperatura y humedad de funcionamiento	32 °F a 104 °F (0 °C a 40 °C), 0% a 80% HR
Temperatura y humedad de almacenamiento	14 °F a 140 °F (-10 °C a 60 °C), 0% a 70% HR
Fuente de alimentación	Una batería de 9 voltios, NEDA 1604 o JIS 006P o IEC 6F22
Duración de la batería	200 horas (batería alcalina)
Detector de fotos	Un fotodiodo de silicio con filtro
Longitud del cable del fotodetector	150 cm (aprox.)
Dimensiones del fotodetector	94" x 2,36" x 1,06" (100 x 60 x 27 mm)
Dimensiones	31" x 2,83" x 1,06" (135 x 72 x 33 mm)
Peso	250 g (8,8 oz)
Salida analógica	Salida Jack estándar (3,5 mm, coaxial de 3 polos) 1mVDC /1 dígito
Rango	20 lux/fc, 1 0mV por lux/fc 200 lux/fc, 1 mV por lux/fc 2.000 lux/fc, 0,1 mV por lux/fc 20.000 lux/fc, 0,1 mV por 10 lux/fc
Agregar precisión básica	±0,5 % de la lectura de la pantalla LCD

El levantamiento se realizó en cada una de las áreas delimitadas inicialmente para el diseño, Tomando en cuenta la posición y la altura a la que se requiere la iluminación que es a nivel del

suelo. En la Figura 8 se puede apreciar los puntos con los respectivos valores tomados en el levantamiento con el instrumento de medición anteriormente mencionado

Figura 14.

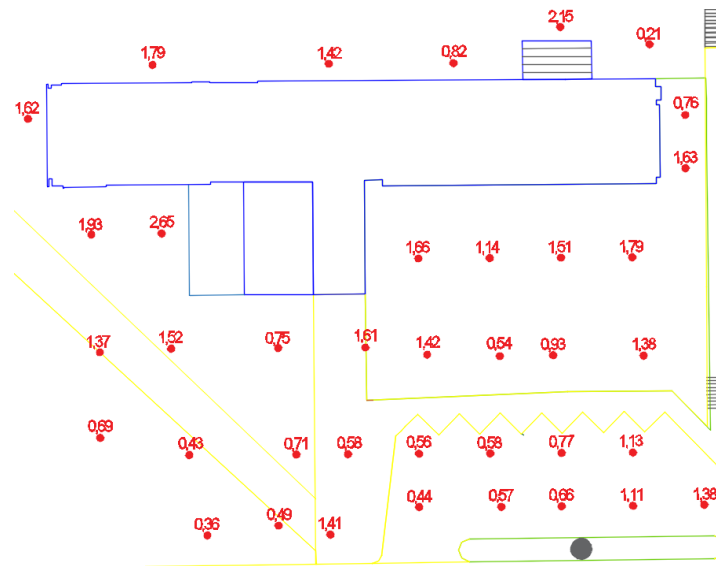
Plano general en AutoCAD de muestras tomadas con luxómetro en los alrededores del edificio de Ingeniería Eléctrica.



En vista de los valores obtenidos anteriormente del levantamiento con el luxómetro, procedimos a realizar un plano con los promedios de iluminancias por las zonas en las cuales fueron tomadas las muestras con el instrumento de medición. Analizando detalladamente la Figura 9 de los promedios calculados, se observa el nivel de iluminación mínimo que fue de 0,36 luxes y el máximo de 2,65 luxes del área delimitada.

Figura 15.

Plano general en AutoCAD del promedio por zonas de las muestras tomadas con luxómetro en los alrededores del edificio de Ingeniería Eléctrica.



De acuerdo con la Tabla 2 del reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, se puede afirmar que el área delimitada se clasifica como C4, con una iluminancia promedio de 10 luxes en donde comparando los valores mínimos, máximos y promedios de las zonas calculados anteriormente, se aprecia que los luxes de los exteriores del edificio E3T se encuentran por debajo del rango mínimo establecido por el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP).

Figura 16.*Fotometría mínima en áreas críticas distintas a las vías vehiculares*

Clasificación	Clase de iluminación	Iluminancia promedio (luxes)	Uniformidad general $U_0 \geq \%$
Canchas múltiples recreativas	C0	50	40
Plazas y plazoletas	C1	30	33
Pasos peatonales subterráneos	C1	30	33
Puentes peatonales	C2	20	33
Zonas peatonales bajas y aledaños a puentes peatonales y vehiculares	C2	20	33
Andenes, senderos, paseos y alamedas peatonales en parques	C3	15	33
Ciclo-rutas en parques	C2	20	40
Ciclo-rutas, senderos, paseos, alamedas y demás áreas peatonales adyacentes a rondas de ríos, quebradas, humedales, canales y demás áreas distantes de vías vehiculares iluminadas u otro tipo de áreas iluminadas	C4	10	40

3. Parámetros generales de diseño

La iluminación cumple un papel fundamental para cualquier entorno, por ende, debe ser la adecuada para el desarrollo normal de las actividades teniendo en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de luz sobre el área contemplada. Así mismo, para dar cumplimiento a esos requerimientos de luz se debe hacer una cuidadosa selección de la fuente y la luminaria apropiada en base a su desempeño fotométrico, de tal forma que se logre los requerimientos de iluminación con las mejores Inter distancias, las menores alturas de montaje y la mejor potencia eléctrica de la fuente posible.

3.1 Irradiancia solar

Es la potencia de la radiación solar por unidad de área, en el sistema internacional de unidades se mide en (W/m^2). Esta es la responsable de que se genere concentración de energía en los paneles solares, su incidencia en la superficie de la tierra depende de las condiciones climáticas de cada día, entre mayor esté despejada la atmósfera habrá más irradiación que cuando está nublado. Esta radiación llega a la tierra, en los siguientes porcentajes; 7% ultravioleta, 47% luz visible y 46% radiación infrarroja.

De la información de la Nasa Power se evidencia la variación de la radiación solar de cada mes del año como se muestra en la Tabla 3 y su representación gráfica en la Figura 10.

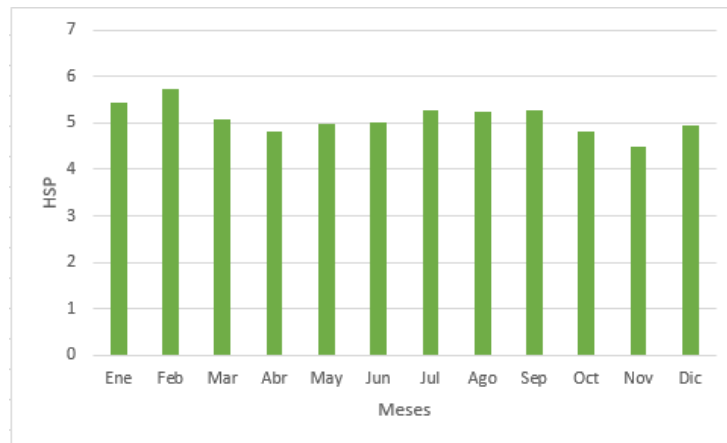
Tabla 2.

Datos de irradiancia solar de cada mes (Nasa Power)

ENERO	5.45
FEBRERO	5.74
MARZO	5.07
ABRIL	4.81
MAYO	4.99
JUNIO	5
JULIO	5.28
AGOSTO	5.25
SEPTIEMBRE	5.27
OCTUBRE	4.8
NOVIEMBRE	4.48
DICIEMBRE	4.95

Figura 17.

Grafica hora solar pico (Nasa Power)



De la información de la Nasa promediamos los 12 meses para obtener el valor final que utilizaremos en el cálculo de los equipos. haciendo el cálculo se llega al valor de 5.09 HSP.

3.2 Factor de sombra

Los efectos negativos que poseen las sombras sobre los paneles solares fotovoltaicos. Es que dichas sombras son el principal motivo de afectación en el rendimiento de la instalación, motivo por el cual se debe evitar en lo posible. Para el presente proyecto se considera un factor de sombra nulo, debido a que en el lugar en donde se plantea la instalación del panel solar fotovoltaico no tiene obstrucción de los rayos solares.

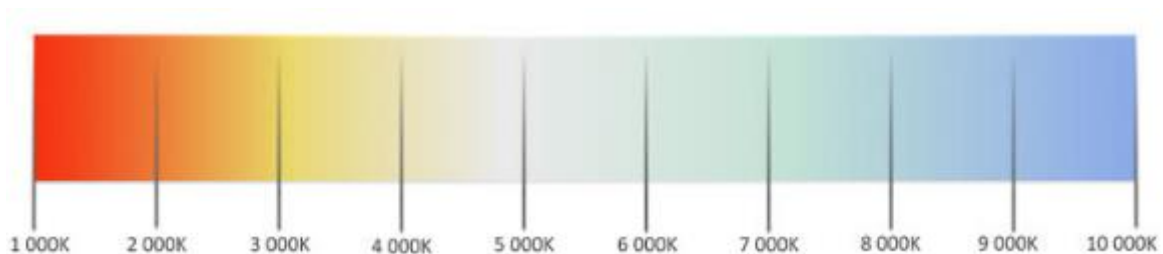
3.3 Temperatura de color

La temperatura de color es un valor muy importante a tener en cuenta a la hora de elegir la iluminación led de cualquier lugar. Este valor viene indicado en Kelvin (K) y principalmente nos indica si la bombilla produce luz cálida o fría.

Cada ambiente necesita un color de luz, el cual se determina respecto a las actividades que se vayan a realizar en determinados lugares, en donde la iluminación led dispone de tres colores importantes que son; cálido, neutro y frío. Los colores están comprendidos de la siguiente forma; el cálido por debajo de los 3000K, el neutro entre 4000K y 5000K y el frío desde 6000K en donde se asemeja la luz del día. En la Figura 11 se observan las escalas de temperatura de color Kelvin.

Figura 18.

Escala de temperatura de color (kelvin)



4. Diseño general del sistema de iluminación para la fachada y exteriores del edificio E3T

Para el diseño de la fachada del edificio E3T, correspondientes al resalte y embellecimiento del letrero distintivo, se utilizarán 2 proyectores, asimismo, se requerirán un total de 47 luminarias tipo bala led que se ubicaran por los alrededores del edificio y por último, se implementaran 9 luminarias tipo led solar integrado que se ubicaran en los diferentes espacios propios a los senderos peatonales y parqueadero.

4.1 Ubicación y descripción del diseño de luminarias para exteriores del edificio E3T

El diseño de luminarias para los exteriores del edificio E3T se divide en dos partes; La primera consiste en implementar un sistema de balas led de piso de luz cálida que comprende las zonas del alrededor del edificio, contribuyendo con resaltar todo el contorno creando un ambiente relajante y acogedor, para este diseño de balas led se establece una separación de 3 metros entre cada luminaria y una distancia de 0.3 metros con respecto al andén que abarca todo el perímetro del edificio. La ubicación por encaje de tierra permitirá disminuir factores de riesgos vandálicos, además, se adapta a soportar diferentes temperaturas y ofrece un espacio iluminado uniformemente a cambio de un bajo consumo energético sin generar algún tipo de toxicidad, en donde a este mismo circuito se le suma el diseño de iluminación para la fachada del edificio, el cual contará con dos luminarias tipo proyector que se ubicaran a una separación de 1 metros en la parte inferior del letrero distintivo del edificio, con un distanciamiento de 4.80 metros entre ellas y un ángulo de 5° apuntando hacia la pared, con el fin de embellecer y destacar el letrero que contiene el nombre

de la escuela. Este diseño de iluminación de balas led y reflectores el cual está constituido por un mismo circuito, aprovecha la energía solar como fuente de alimentación mediante el procedimiento fotovoltaico, proporcionando un sistema sostenible y con características para exteriores que resisten diversas circunstancias climáticas, suministrando su utilidad a bajo costo. En la Figura 12 se puede observar el diseño general de iluminación para la implementación de las balas led junto con los reflectores que iluminan el letrero del edificio E3T y en la Figura 13 se aprecia el diseño de la fachada con más detalle.

Figura 19.

Plano general en AutoCAD del diseño general de iluminación de balas led y reflectores para fachada

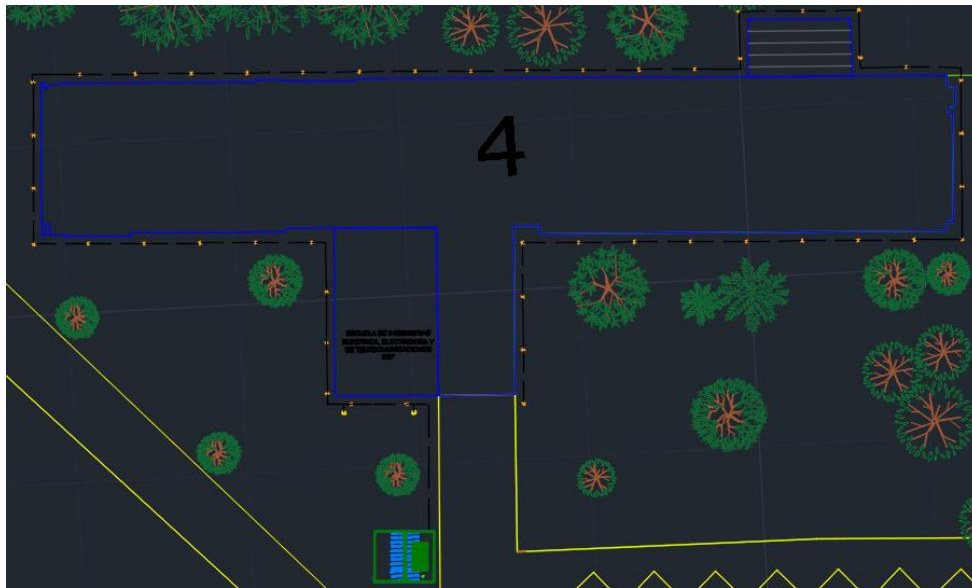
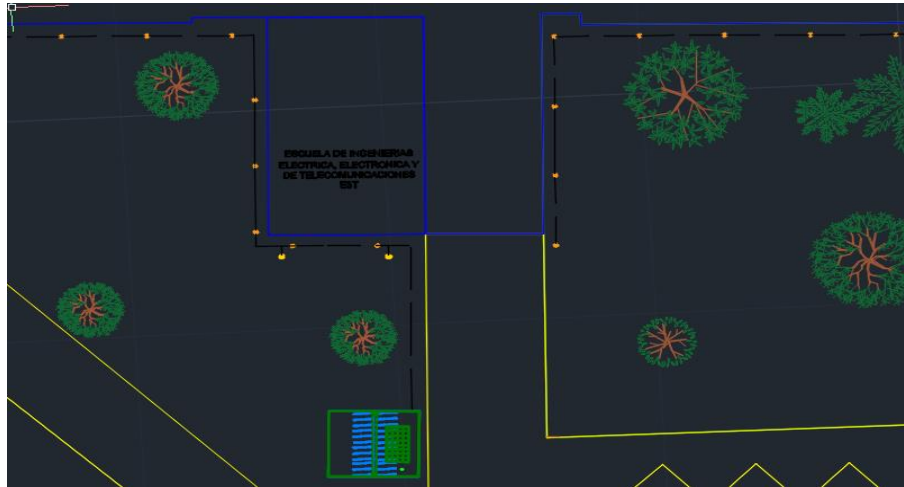


Figura 20.

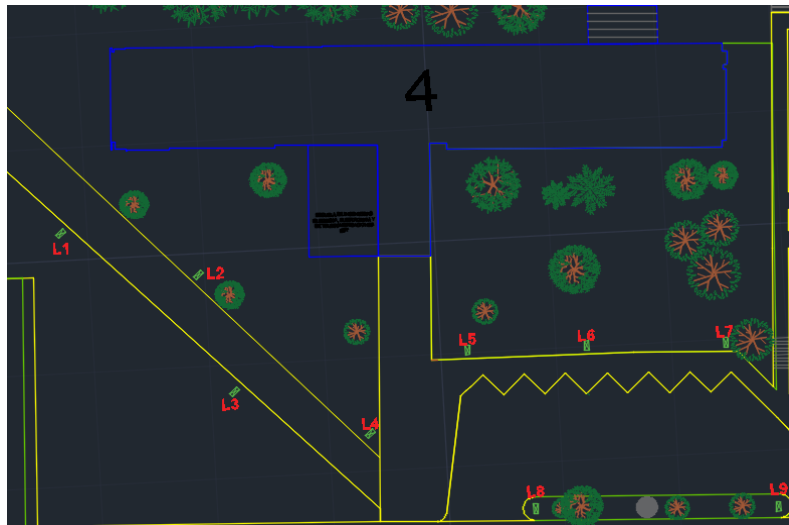
Plano en AutoCAD vista detallada del diseño general de iluminación de reflectores para la fachada



La segunda parte radica en implementar un sistema de iluminación autosustentable tipo led solar integrada que comprende las áreas de los senderos peatonales y el parqueadero, el cual utiliza la energía solar como fuente de alimentación mediante un mecanismo incorporado que a través de un panel fotovoltaico realiza la transformación de la energía solar en energía eléctrica para cargar su batería sin requerir un punto eléctrico o conexión a la red de suministro de energía. En la Figura 14 se puede apreciar con detalle los puntos en donde se ubican las luminarias led solares integradas tipo postes.

Figura 21.

Plano general en AutoCAD de las luminarias led solares.



4.2 Ubicación y descripción del diseño del sistema fotovoltaico para alimentación de luminarias de exteriores del edificio E3T

Se requiere el diseño de un sistema fotovoltaico propio para alimentar el diseño del sistema de luminarias tipo Bala Led y reflectores leds diseñados en la iluminación de la fachada y exteriores del edificio E3T. El sistema fotovoltaico está formado por un panel solar que a través de células solares individuales hechas de materiales semiconductores transforma la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones) específicamente en corriente continua, igualmente cuenta con un controlador como mecanismo de protección para garantizar funcionamiento automatizado, también se dispone de un inversor que es el que convierte la electricidad generada por los paneles solares fotovoltaicos en la electricidad de corriente alterna y una batería que almacena la energía generada para una futura utilización, esto requiere de manera adicional la construcción de una estructura como base y soporte para el panel y los equipos mencionados anteriormente, ubicados

en un gabinete debajo de la parte superior de la estructura. La estructura se ubicará de manera estratégica en la entrada principal del edificio, exactamente en el lugar de estacionamiento para las bicicletas, donde se propone la unión de los soportes de estos vehículos para optimizar el espacio utilizado, llevará la forma de techo para cumplir de manera simultánea con la finalidad de ofrecer sombra a las bicicletas bilateralmente y cumpliendo con la necesidad de ubicar el panel fotovoltaico de manera que reciba el contacto directo con el sol para garantizar las condiciones adecuadas en su funcionamiento. En la Figura 15 se aprecia la simulación de la estructura o soporte para el panel solar con sus respectivos equipos que conforman el sistema

Figura 22.

Estructura o soporte para paneles solares y estacionamiento de bicicletas

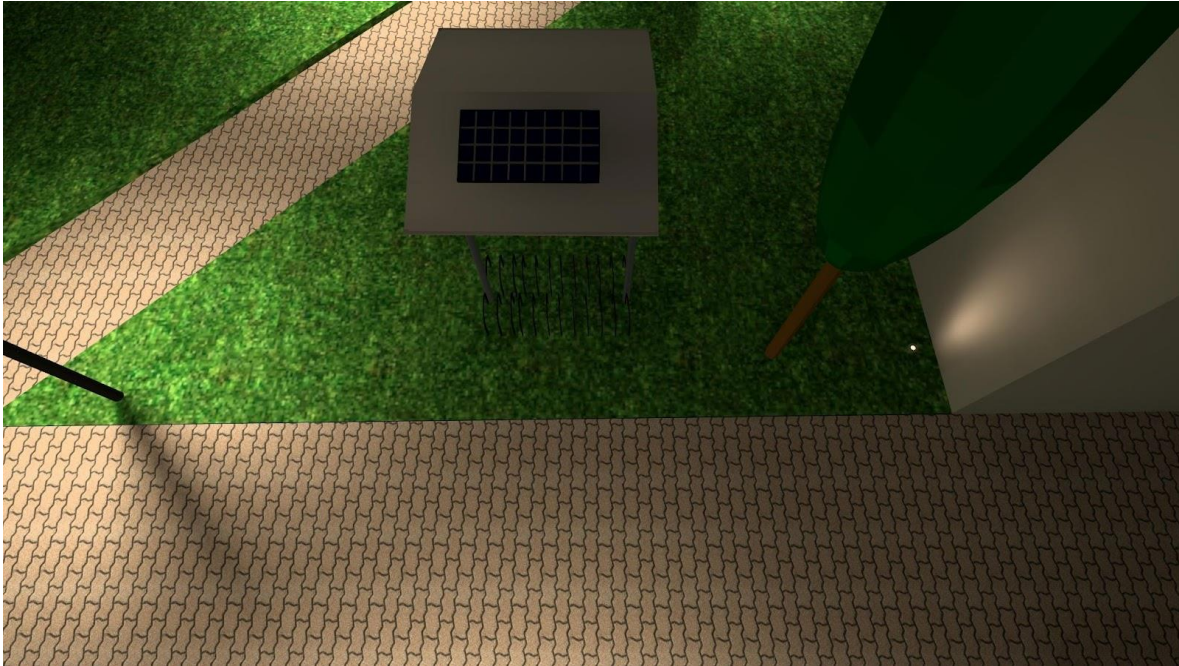


La estructura de base y soporte en forma de techo, tendrá un largo de 3 metros, 3.5 metros de ancho y una altura de 2.50 metros, se ubicará a 7 metros de la entrada principal del edificio E3T y estará conformada de material acero inoxidable para ofrecer alta resistencia mecánica y

climática, implementar material reciclable y utilizar bajo costo. En la Figura 16 se aprecia dicha estructura con una vista superior

Figura 23.

Estructura o soporte en forma de techo para paneles solares y estacionamiento de bicicletas



5. Selección de luminarias

De acuerdo a los niveles de iluminación requeridos para el entorno en estudio se proponen dos diseños, cada uno con un tipo de luminarias en donde se realizará un análisis comparativo con el fin de seleccionar la mejor propuesta.

5.1 Primera propuesta de iluminación - Pathe g/r3 Led 1W - Proyector Led cob 8W - Led solar integrada S40 40W

Para el primer diseño de iluminación de los exteriores del edificio se seleccionaron las tres respectivas luminarias para cada espacio descrito anteriormente.

5.1.1 Balas Led primera propuesta

Las balas led seleccionadas poseen una distribución lumínica apropiada en la cual se aprovecha satisfactoriamente el flujo luminoso sobre la estructura del edificio por su forma elíptica. En la Tabla 4 se pueden observar las especificaciones técnicas de la luminaria seleccionada y en la Figura 17 se aprecia el diagrama fotométrico de la misma.

Tabla 3.

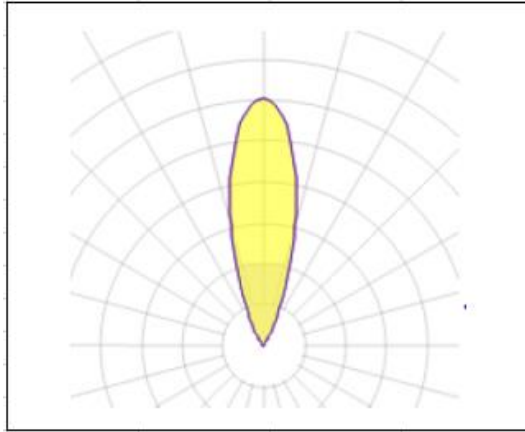
Especificaciones técnicas de balas led seleccionadas primera propuesta

Modelo		
PATHE G/R3 1 W LED 3K WIDE / 4069274 / SYLVANIA		
Características Electricas		
	Tipo de lampara	LED
	Potencia nominal de lampara	1 W
	Flujo luminoso	79 lm
	Eficiencia luminosa	79 lm/W
	CCT	3000 K
	CRI	85
	LOR	100%
	Potencia total	1 W
	Clase ip/ik	67/08
	Altura ajustable	75 mm
	Diametro	95 mm

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante

Figura 24.

Fotometría pathe g/r3 1 [W] Led 3K wide 4069274

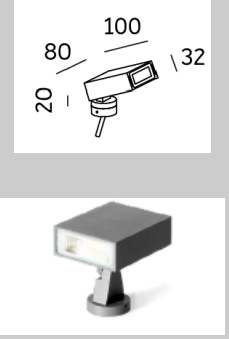


Nota: figura tomada de la ficha técnica del fabricante

5.1.2 Proyectores primera propuesta

Este proyector está diseñado para exteriores debido a sus características adecuadas para soportar diferentes condiciones climáticas, cuentan con un tamaño pequeño en comparación a otros y esto normalmente les permite ser livianos y consumir poca energía conservando la calidad de su desempeño en la intensidad luminosa. A continuación, en la Tabla 5 se describen con detalle sus características.

Tabla 4.*Especificaciones técnicas de proyector seleccionado primera propuesta*

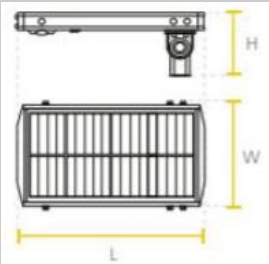
Modelo		
LED COB / HIGHLIGHTS		
Dimensiones	Características electricas	
	Tipo de luminaria	PROYECTOR
	Potencia nominal de lampara	8 W
	Voltaje de operación	220V - 240 V
	Flujo luminoso	460 lm
	CCT	3000 K
	Grados	90
	Eficacia	0 lm/W
	IP	54
	Atenuacion	SI

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante**5.1.3 Led solar integrada S40 primera propuesta**

Las luminarias led solar integradas S40 permiten una fácil instalación, no requieren de cableado ni conexión a la red y trabajan de manera independiente de los circuitos tradicionales, generan bajo un sistema integrado su propia energía dependiendo únicamente de su fuente solar para proporcionar iluminación, también cuentan con una larga vida útil y bajo mantenimiento. A continuación, en la Tabla 6 se describen con detalle sus especificaciones técnicas.

Tabla 5.

Especificaciones técnicas de led solar integrada primera propuesta

Modelo					
LED SOLAR INTEGRADA S40 / P23560 PRO / SYLVANIA					
Dimensiones			Características electricas		
			Tipo de luminaria	LED	
			Potencia luminaria	40	
			Potencia panel solar	32	
			Capacidad max de bateria	230 Wh	
			Flujo luminoso	6000 lm	
			Eficiencia max modulo led	150 lm/W	
			CCT	6000 K	
Watt	L	W	H	IRC	
40 W	711	386	243	Vida útil LED	>70
					100 000 h

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante

5.1.4 Simulación de la primera propuesta de diseño con el software DIALux

Para una mejor percepción del sistema de iluminación propuesto se realizó la simulación con el software DIALux en donde podemos observar con detalle como quedaría en la realidad el diseño con las luminarias seleccionadas anteriormente, con el objetivo de elegir la mejor opción. En las Figuras 18, 19, 20, 21, 22 y 23 podemos ver con detalle las simulaciones para el primer diseño propuesto desde diferentes ángulos. En las Figuras 24 y 25 se observan los espectros luminosos y en la Figura 26 se aprecia la simulación de las curvas fotométricas.

Figura 25.

Simulación con enfoque de vista general de la primera propuesta implementando el programa DIALux

**Figura 26.**

Simulación con enfoque de vista de la fachada de la primera propuesta implementando el programa DIALux

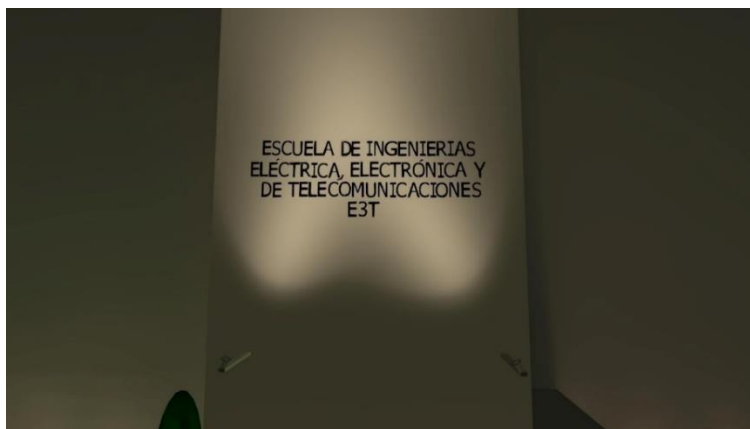


Figura 27.

Simulación con enfoque de vista frontal-superior de la primera propuesta implementando el programa DIALux

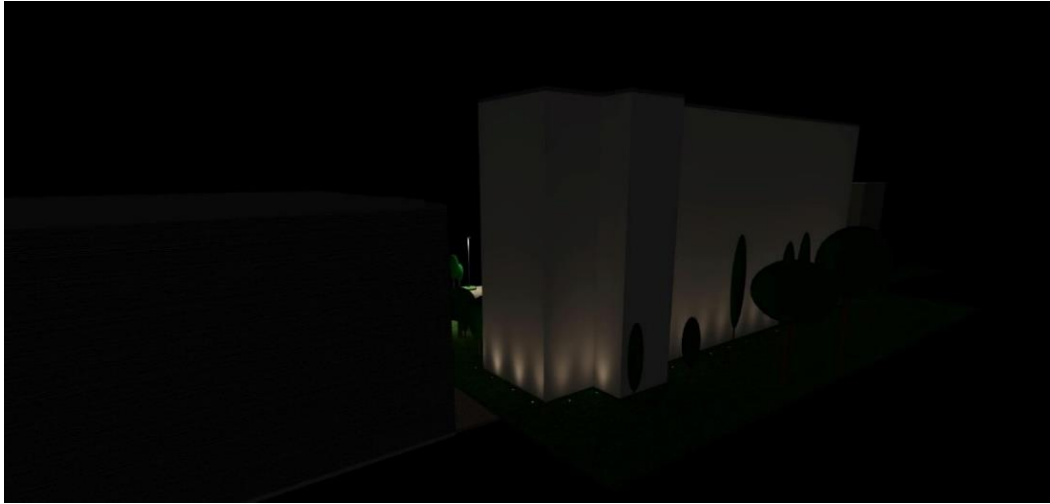
**Figura 28.**

Simulación con enfoque de vista lateral izquierda-superior de la primera propuesta implementando el programa DIALux



Figura 29.

Simulación con enfoque de vista lateral derecha-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux

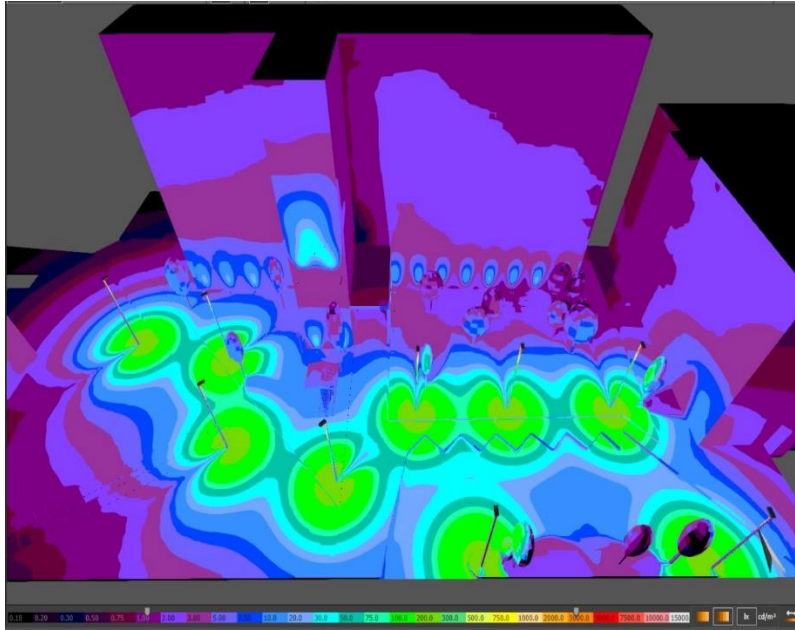
**Figura 30.**

Simulación con enfoque de vista lateral izquierda-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux



Figura 31.

Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista general de la primera propuesta implementando el programa DIALux

**Figura 32.**

Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista lateral izquierda-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux

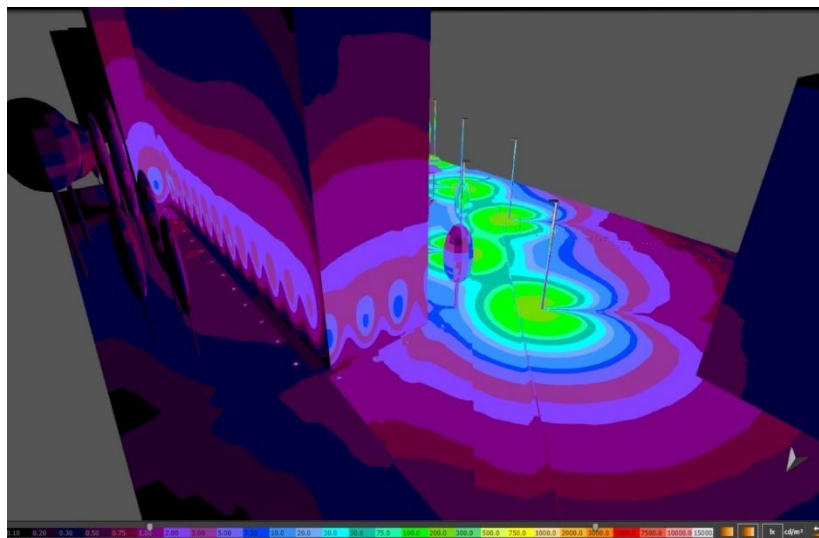
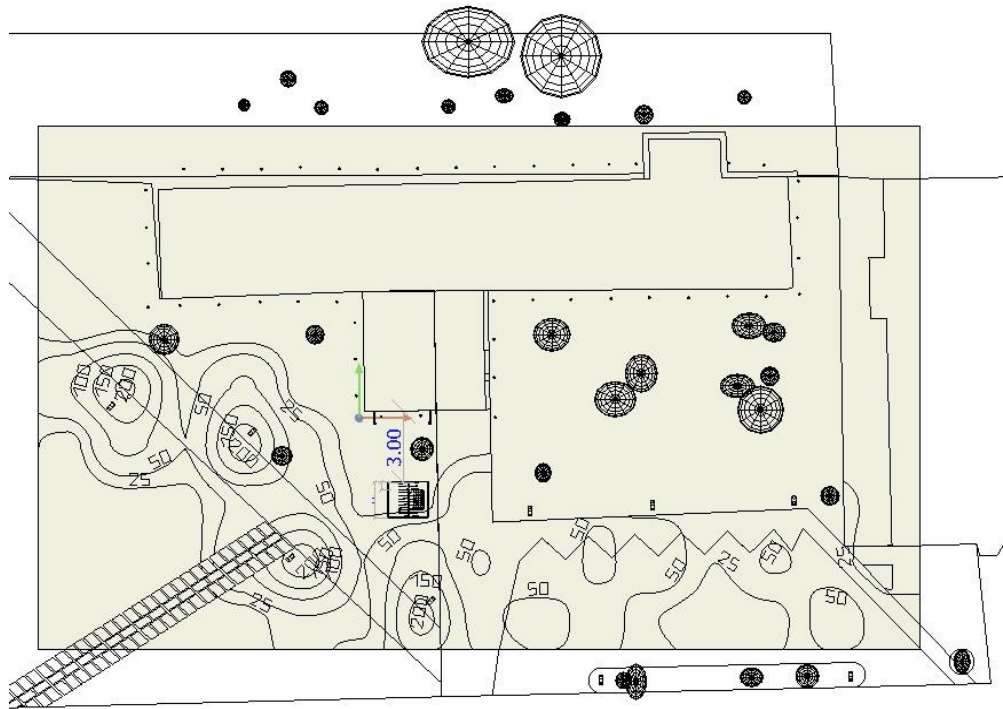


Figura 33.

Simulación de curvas fotométricas a través de vista superior de la primera propuesta implementando el programa DIALux



5.2 Segunda propuesta de iluminación - Pathe g/r3 Led 4.4W - Proyector Led cob 12W - Led solar integrada S40 40W

Para el segundo diseño de iluminación de los exteriores del edificio se seleccionaron las tres respectivas luminarias para cada espacio descrito anteriormente.

5.2.1 Balas Led segunda propuesta

Las balas led seleccionadas para la segunda propuesta de diseño poseen una distribución lumínica con una mayor amplitud de luminosidad que la primera propuesta de diseño en donde su diagrama fotométrico nos permite apreciar su forma casi simétrica. En la Tabla 7 se pueden observar las especificaciones técnicas de la luminaria seleccionada y en la Figura 27 se aprecia el diagrama fotométrico de la misma.

Tabla 6.

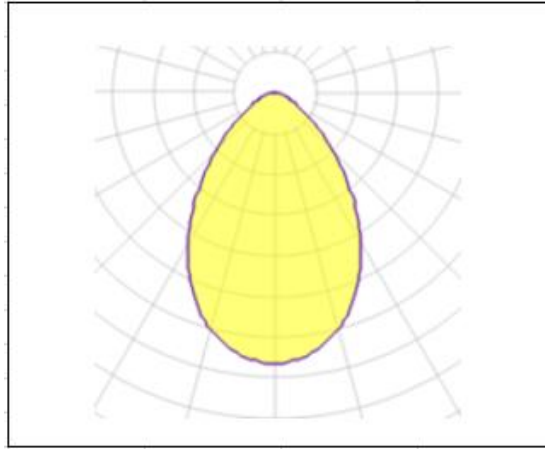
Especificaciones técnicas de balas led seleccionadas segunda propuesta

Modelo		
PATHE G/R3 4.4 W LED 3K WIDE / 4070058 / SYLVANIA		
Características electricas		
	Tipo de lampara	LED
	Potencia nominal de lampara	4,4 W
	Flujo luminoso	103lm
	Eficiencia luminosa	23 lm/W
	CCT	3000 K
	CRI	80
	LOR	100%
	Potencia total	4,4 W
	Clase IP/IK	67/10
	Altura ajustable	93 mm
	Diametro	148 mm

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante

Figura 34.

Fotometría pathe g/r3 4.4 [W] Led 3K wide 4070058

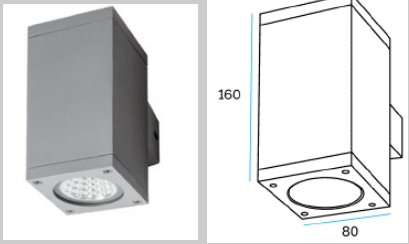


Nota: figura tomada de la ficha técnica del fabricante

5.2.2 *Proyectores segunda propuesta*

Este proyector está diseñado para exteriores debido a sus características adecuadas para soportar diferentes condiciones climáticas, cuentan con una forma rectangular que hace juego con la forma de la estructura en la cual se desea implementar. A continuación, en la Tabla 8 se describen mejor sus características.

Tabla 7.*Especificaciones técnicas de proyector seleccionado segunda propuesta*

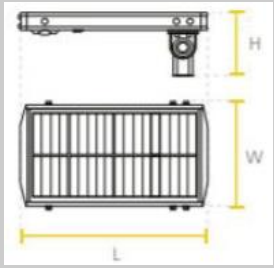
MODELO	
LED COB / HIGHLIGHTS	
Dimensiones	Características electricas
	Tipo de luminaria
	PROYECTOR
	Potencia nominal de lampara
	12 W
	Voltaje de operación
	120V - 240 V
	Flujo luminoso
	500 lm
	CCT
	3000 K
	Grados
	36
	Eficacia
	50 lm/W
	IP
	65
	Atenuacion
	SI

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante

5.2.3 Led solar integrada S40 segunda propuesta

Las luminarias led solar integradas S40 pro permiten una fácil instalación, no requieren de cableado ni conexión a la red y trabajan de manera independiente de los circuitos tradicionales, generan bajo un sistema integrado su propia energía dependiendo únicamente de su fuente solar para proporcionar iluminación, también cuentan con una larga vida útil, bajo mantenimiento y excelente uniformidad luminosa. A continuación, en la Tabla 9 se describen mejor sus especificaciones técnicas.

Tabla 8.*Especificaciones técnicas de led solar seleccionada segunda propuesta*

MODELO					
LED SOLAR INTEGRADA S40 / P23560 PRO / SYLVANIA					
Dimensiones			Características electricas		
			Tipo de luminaria	LED	
			Potencia luminaria	40	
			Potencia panel solar	32	
			Capacidad max de bateria	230 Wh	
			Flujo luminoso	6000 lm	
			Eficiencia max modulo led	150 lm/W	
			CCT	6000 K	
			IRC	>70	
Watt	L	W	H	Vida útil LED	
40 W	711	386	243	100 000 h	

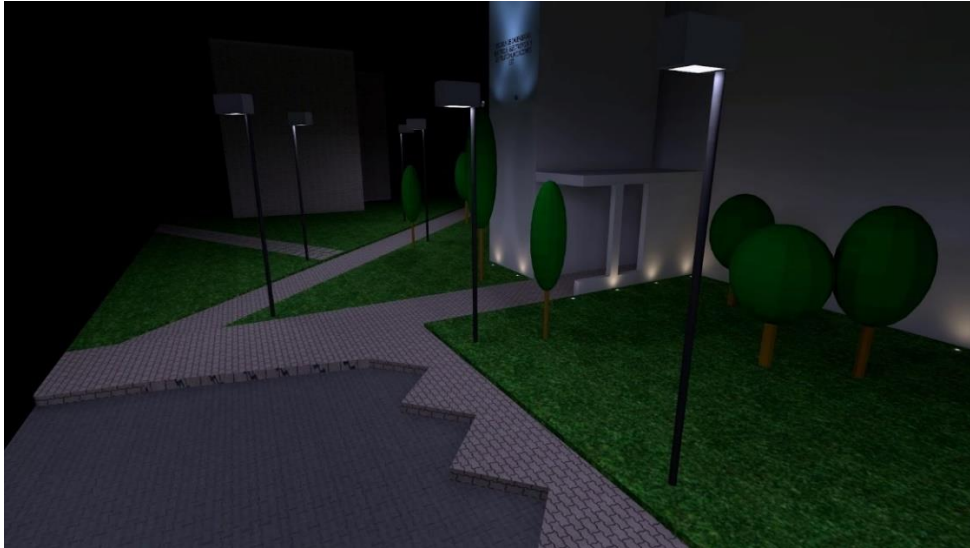
Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante

5.2.4 Simulación de la segunda propuesta de diseño con el software DIALux

Para una mejor percepción del sistema de iluminación propuesto se realizó la simulación con el software DIALux en donde podemos observar con detalle como quedaría en la realidad el diseño con las luminarias seleccionadas anteriormente, con el objetivo de elegir la mejor opción. En las Figuras 28, 29, 30, 31, 32 y 33 podemos ver con detalle las simulaciones para el primer diseño propuesto desde diferentes ángulos. En las Figuras 34 y 35 se observan los espectros luminosos y en la Figura 36 se aprecia la simulación de las curvas fotométricas.

Figura 35.

Simulación con enfoque de vista general de la segunda propuesta implementando el programa DIALux

**Figura 36.**

Simulación con enfoque de vista de la fachada de la segunda propuesta implementando el programa DIALux

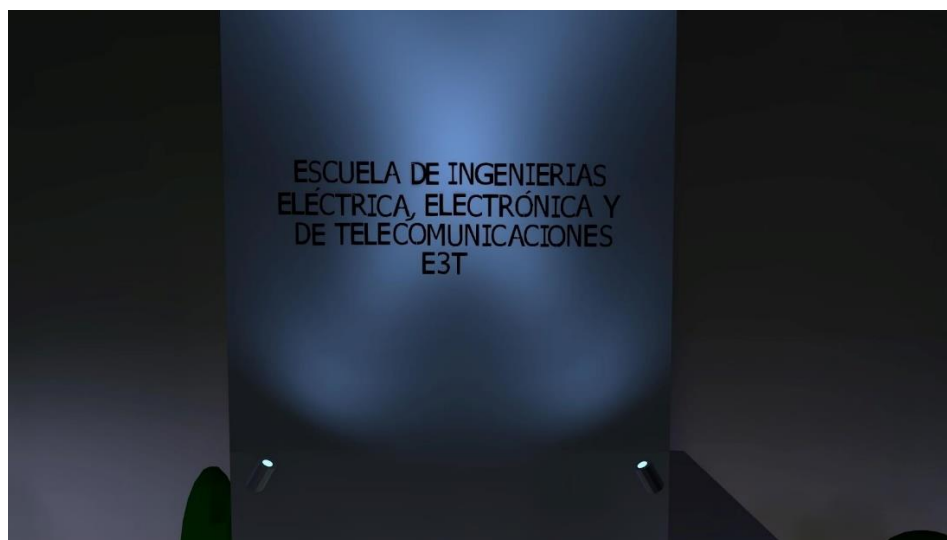
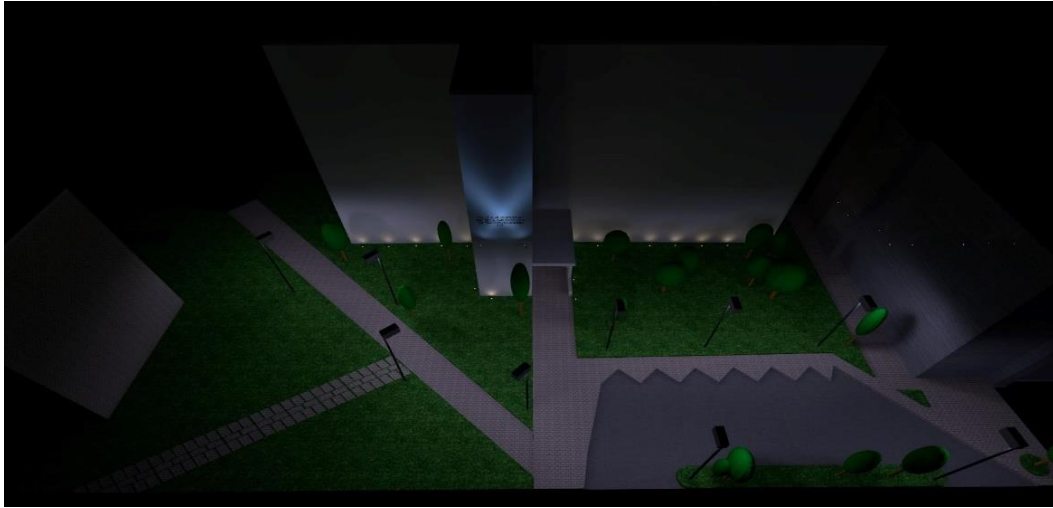


Figura 37.

Simulación con enfoque de vista frontal-superior de la segunda propuesta implementando el programa de DIALux

**Figura 38.**

Simulación con enfoque de vista lateral izquierda-superior de la segunda propuesta implementando el programa de DIALux

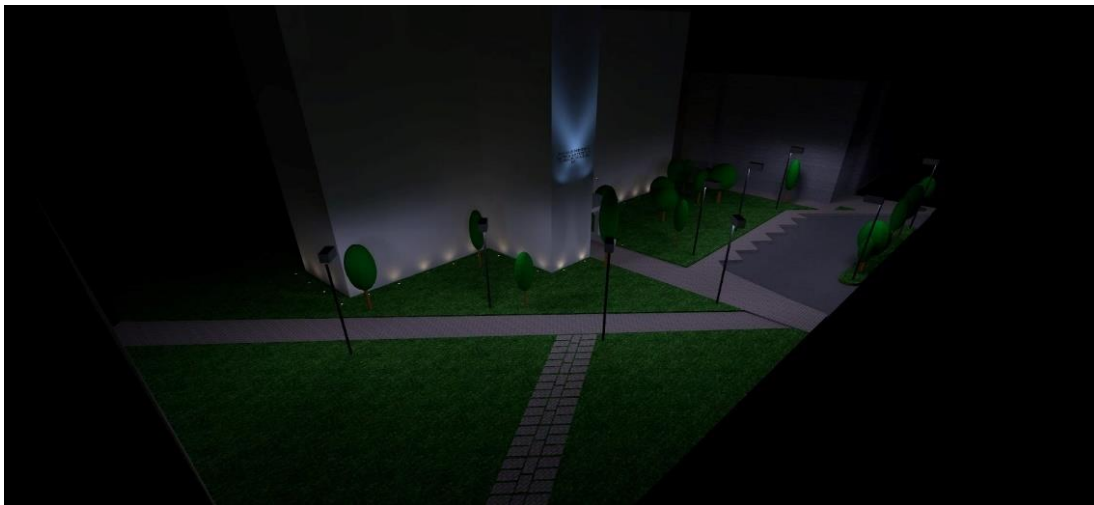


Figura 39.

Simulación con enfoque de vista lateral derecha-trasera de la primera propuesta implementando el programa DIALux

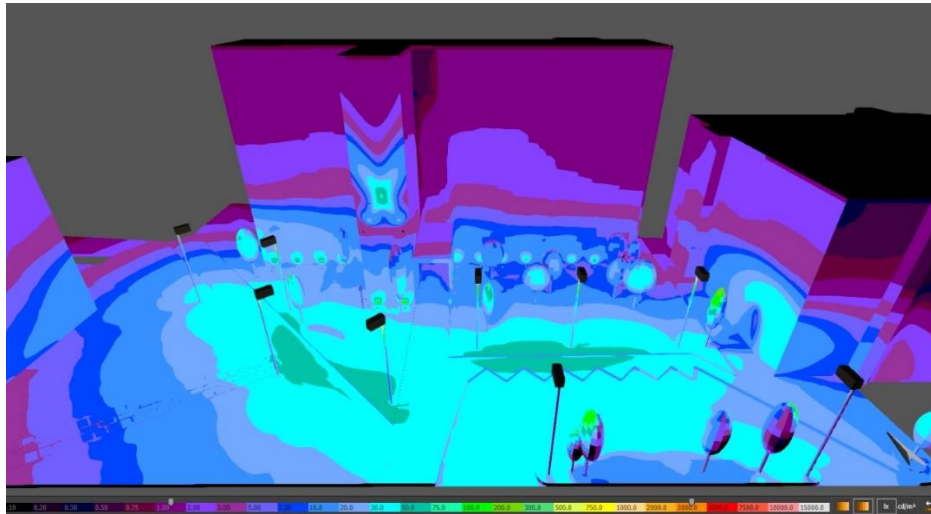
**Figura 40.**

Simulación con enfoque de vista lateral derecha-trasera de la segunda propuesta implementando el programa de DIALux



Figura 41.

Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista general de la segunda propuesta implementando el programa DIALux

**Figura 42.**

Simulación del espectro luminoso con enfoque de vista lateral izquierda-trasera de la segunda propuesta implementando el programa DIALux

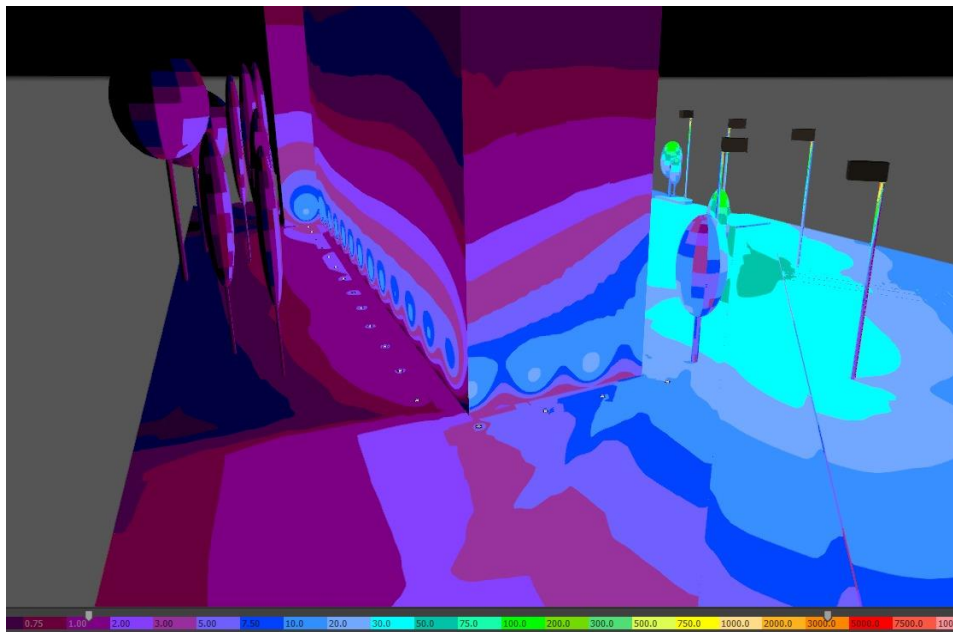
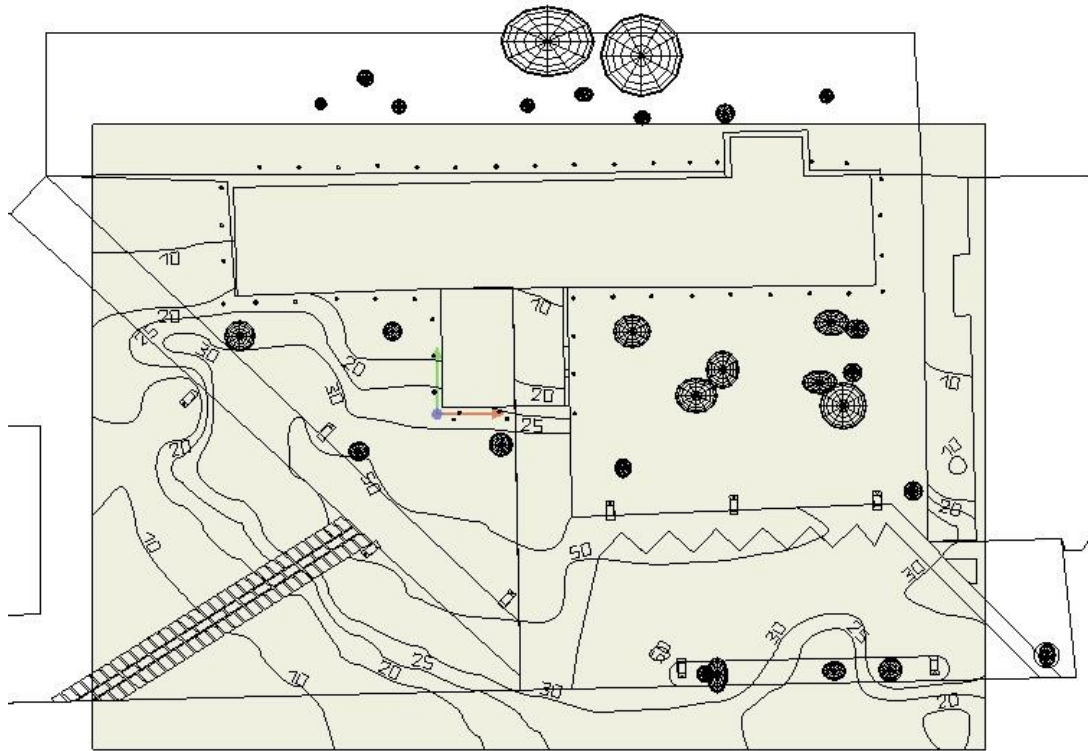


Figura 43.

Simulación de curvas fotométricas a través de vista superior de la segunda propuesta implementando el programa DIALux



6. Carga instalada

Para el correcto dimensionamiento de cualquier sistema eléctrico es necesario conocer el consumo de la carga total a instalar; para ello, se elaboraron las respectivas tablas de consumo de las luminarias seleccionadas para cada una de las dos propuestas, en donde la carga total se divide en dos sistemas independientes, ya que las luminarias led alumbrado público solar se comportan

como un sistema independiente y autosustentable de las luminarias balas led de piso, las cuales van en un mismo circuito con los reflectores para la fachada, siendo estas dos tipos de luminarias alimentadas por un panel solar fotovoltaico ubicado en la superficie de un cobertizo de estacionamiento para las bicicletas propuesto en la entrada principal del edificio E3T.

6.1 Carga instalada para primera propuesta de diseño

En la primera propuesta de iluminación del diseño, se utilizaran la misma cantidad de luminarias que en la primera propuesta de iluminación, la diferencia radica en la potencia que estas requieren; se plantea “PATHE G/R2 1 [W] LED 3K MED 4069274” para la luminaria tipo bala led, cada una de estas luminarias necesita de 1 Watt, lo cual genera una demanda de 564 Watts contemplando un uso de 12 horas diarias para las 47 que comprenden el diseño establecido, estas luminarias se encuentran en el catálogo de SYLVANIA y constan de un flujo lumínico de 79 [lm]. En la parte referente a la fachada, se optó por “APLIQUE UPDOWN CUADRADO” para la luminaria tipo reflector, esta luminaria precisa de 12 Watts cada una de ellas, generando un total de 288 Watts contemplando un uso de 12 horas diarias, la cual la podemos encontrar en el catálogo de HIGHLIGHTS y finalmente para la luminaria solar autosustentable se planteó “LED SOLAR INTEGRADA S40 PRO” que incluye en su estructura unificada un panel solar con potencia solar de 32 Watts, controlador, luminaria led y batería de litio de 230 [Wh] con 2000 ciclos de vida útil, también cuenta con una vida de útil de 100000 [horas] conservando un flujo luminoso al 70 [%], tres (3) modos de iluminación que implementan de manera opcional sensores de movimientos, aumento de iluminación y consta de un flujo luminosos de 6000 [lm], igualmente encontrado en el catálogo de SYLVANIA. A continuación, en la tabla 10 se aprecia con detalle la carga total para

el panel solar fotovoltaico y en la tabla 11 la carga total de alumbrado público solar independiente y autosustentable para la segunda propuesta de diseño.

Tabla 9.

Carga total instalada para el panel solar fotovoltaico

Item	Equipo	Cantidad	Flujo luminoso [lm]	Potencia Unitaria [W]	Potencia Total [W]	Horas de uso [h]	Potencia total [Wh/día]
1	Bala led	47	79	1	47	12	564
2	Proyector led exterior	2	460	8	16	12	192
TOTAL					63		756

Tabla 10.

Carga total de alumbrado público solar independiente y autosustentable

Item	Equipo	Cantidad	Flujo luminoso [lm]	Potencia unitaria [W]	Potencia total [W]	Horas de uso [h]	Potencia total [Wh/día]
3	Led solar integrada S40	9	4800	21	189	12	2268
TOTAL					189		2268

6.2 Carga instalada para segunda propuesta de diseño

Para la segunda propuesta, se plantea “PATHE G/R3 4.4 [W] LED 3K WIDE 4070058” para la luminaria tipo bala led, cada una de estas luminarias necesita de 4.4 Watts, lo cual genera una demanda de 2481.6 Watts contemplando un uso de 12 horas diarias para las 47 que comprenden el diseño establecido, estas luminarias se encuentran en el catálogo de SYLVANIA

y constan de un flujo lumínico de 103 [lm]. En la parte referente a la fachada, se optó por “STAKE 1.0” para la luminaria tipo reflector, esta luminaria precisa de 8 Watts cada una de ellas, generando un total de 192 Watts contemplando un uso de 12 horas diarias, la cual la podemos encontrar en el catálogo de HIGHLIGHTS y finalmente para la luminaria solar autosustentable se planteó “LED SOLAR INTEGRADA S40” que incluye en su estructura unificada un panel solar con potencia solar de 21 Watts, controlador, luminaria led y batería de litio de 120 [Wh] con 2000 ciclos de vida útil, también cuenta con una vida de útil de 50000 [horas] conservando un flujo luminoso al 70 [%], tres (3) modos de iluminación que implementan de manera opcional sensores de movimientos, aumento de iluminación y consta de un flujo luminosos de 4800 [lm], igualmente encontrado en el catálogo de SYLVANIA.

Teniendo en cuenta que para el dimensionamiento del panel solar fotovoltaico se incluirán como cargas a este, las luminarias de bala led de piso y los reflectores led de exteriores. A continuación, en la tabla 12 se aprecia con detalle la carga total para el panel solar fotovoltaico y en la tabla 13 la carga total de alumbrado público solar independiente y autosustentable para la primera propuesta de diseño.

Tabla 11.

Carga total instalada para el panel solar fotovoltaico

Item	Equipo	Cantidad	Flujo luminoso [lm]	Potencia unitaria [W]	Potencia total [W]	Horas de uso [h]	Potencia total [Wh/día]
1	Bala led	47	103	4.4	206.8	12	2481.6
2	Proyector led exterior	2	500	12	24	12	288
TOTAL					230.8		2769.6

Tabla 12.*Carga total de alumbrado público solar independiente y autosustentable*

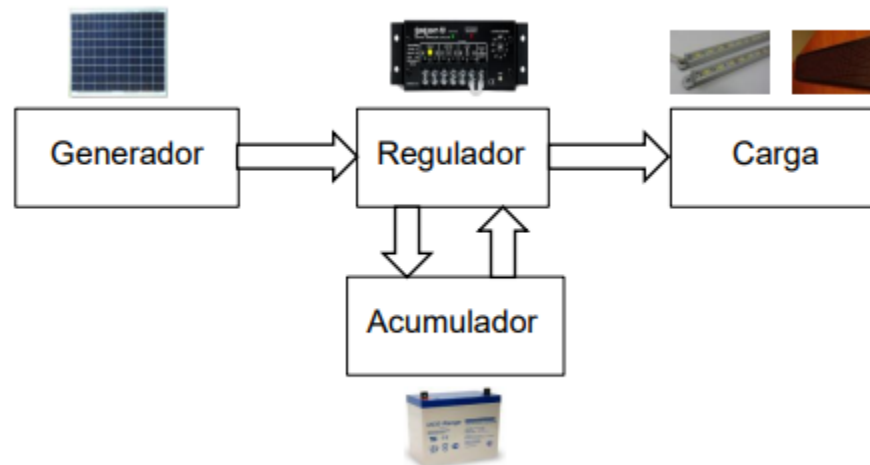
Item	Equipo	Cantidad	Flujo luminoso [lm]	Potencia unitaria [W]	Potencia total [W]	Horas de uso [h]	Potencia total [Wh/día]
3	Led solar integrada S40	9	6000	32	288	12	3456
TOTAL					288		3456

7. Cálculos para el diseño del sistema fotovoltaico autónomo

Para el diseño fotovoltaico autónomo encargado de alimentar las luminarias tipo bala led y reflectores led respectivamente, se inició determinando la carga total de las propuestas a implementar, esto para después establecer las características que requiere tener el panel fotovoltaico al momento de cumplir con la necesidad precisada. A continuación, en la Figura 37 se observan los componentes que requiere una instalación fotovoltaica autónoma.

Figura 44.

Esquema general del sistema de generación solar autónomo



Nota: Tomada de” Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaico para una parada de autobuses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de cuenca (2015)”

7.1 Orientación e inclinación de los paneles

Para la instalación del sistema fotovoltaico se considera de suma importancia que se encuentre con la mejor orientación y grado de inclinación, con el fin de obtener la mayor captación de luz solar aprovechando el máximo rendimiento de los paneles solares.

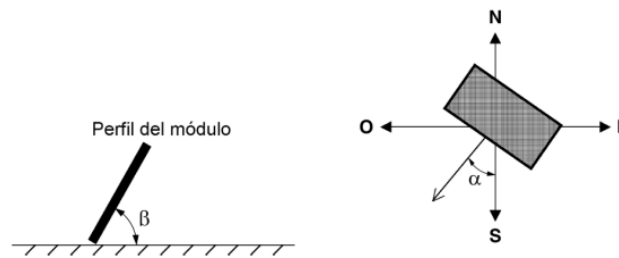
7.1.1 Orientación solar

Los países que están sobre la línea de ecuador, como Colombia, poseen una posición privilegiada ya que el sol está vertical y poco inclinado. Por ende, para un mayor aprovechamiento

de los rayos solares los paneles se orientan hacia el este, ya que es la orientación más productiva de los paneles por su cantidad de horas de luz recibida.

Figura 45.

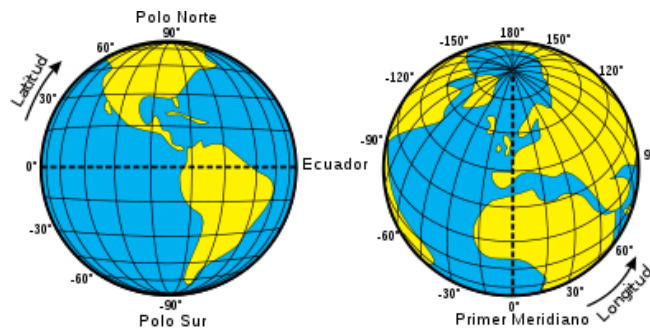
Esquema de orientación y ángulo de inclinación



Nota: Tomada de: Dspace (s.f.) Recuperado de:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11352/1/UPS-CT005555.pdf>

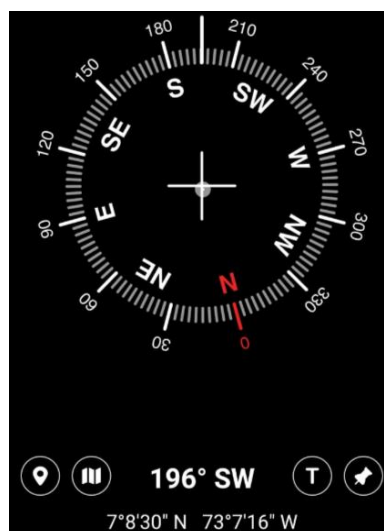
7.1.2 Inclinación de paneles (β)

Así mismo teniendo en cuenta que su instalación depende de la trayectoria de la radiación solar, esperando que se refleje perpendicular entre los trópicos de Cáncer y Capricornio (con una desviación de 23.45° respecto del Ecuador (Carrillo Niño & Barón Albarracin, 2020)) como se observa en la Figura 39

Figura 46.*Latitud y longitud de la tierra*

Nota: Tomada de: Wikipedia (s.f.) Coordenadas geográficas Recuperado de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Coordenadas_geogr%C3%A1ficas

En la Figura 40 se establece la ubicación exacta donde se ubicará el sistema fotovoltaico el cual describe la latitud de $7^{\circ} 8' 30''$ N y magnitud de $73^{\circ} 7' 16''$ W

Figura 47.*Latitud y magnitud de la ubicación del Panel Solar Fotovoltaico*

Para conseguir el ángulo de inclinación de los paneles solares, se utiliza la siguiente fórmula

$$\beta = \phi - \delta \quad (1)$$

$$\beta = 23.45^\circ - 7.83^\circ$$

$$\beta = 15.62^\circ$$

7.2 Dimensionamiento y selección del panel solar para la primera propuesta

La potencia requerida para el sistema fotovoltaico de la primera propuesta, requiere una alimentación de 756 Wh/día que precisa las luminarias tipo bala led y tipo reflector, a esto se le suma 174 Wh/día correspondientes a un 24 % de sobredimensionamiento destinados para las diferentes pérdidas, para un total de 930 Wh/día, considerando 12h de uso diario de dichas luminarias. Para este caso, es posible solventar la necesidad de Wh mencionada anteriormente mediante un panel solar con capacidad de 210 W. A continuación, podemos visualizar con mayor detalle los cálculos requeridos para determinar la potencia a la que se va a seleccionar el panel solar. En la Figura 41 se aprecia el panel seleccionado y en la Tabla 14 se pueden observar las especificaciones técnicas de dicho panel.

Pr (potencia requerida para el panel) = W

P (potencia unitaria de consumo) = W

h (horas de consumo aproximado de las luminarias) = 12

Hspm (hora solar pico mínima) = 4.48

Sobredimensionamiento = 1.24

$$\frac{P * h * 1.24}{Hspm} \quad (2)$$

$$\frac{63 * 12 * 1.24}{4.48}$$

$$Pr \sim 210 [W]$$

Figura 48.

Panel Solar 210W 12V Monocristalino Restar Solar



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

Figura 49.

Especificaciones eléctricas del panel solar seleccionado para el primer diseño propuesto

ELECTRICAL DATA(STC)					
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	210W	215W	220W	225W	230W
Open Circuit Voltage-Voc(V)	23.95V	23.99V	24.03V	24.06V	24.10V
Short Circuit Current-Isc(A)	11.07A	11.30A	11.53A	11.76A	11.99A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	20.05V	20.09V	20.12V	20.16V	20.19V
Maximum Power Current-Imp(A)	10.47A	10.70A	10.93A	11.16A	11.39A
Module Efficiency (%)	19.23%	19.69%	20.15%	20.60%	21.06%

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

7.2.1 Controlador de carga seleccionado para la primera propuesta

Se seleccionó un regulador capaz de evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de un acumulador de carga cuando se alcanzan determinados umbrales, definidos por la tensión en bornes de la batería del sistema. Para esta selección tomamos la corriente máxima de potencia del panel solar seleccionado anteriormente la cual es de 10.47A y en base a esta corriente, se eligió el controlador de carga de 20A PWM de 12 - 24V con pantalla LCD, de igual forma se encuentra este quipo apropiado para nuestra instalación solar. En la Figura 42 se aprecia el controlador seleccionado y en la Tabla 15 sus respectivas características

Figura 50.

Controlador de carga 20A PWM 12 - 24V LCD



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

Tabla 13.

Características del controlador seleccionado para la primera propuesta

Características	
Voltaje de trabajo del regulador	12V y 24V
Volteje de entrada permitido desde paneles	Igual o superior al voltaje en baterías

Características	
Amperios máximos de carga del regulador	20A
Salida de consumo en DC	12V / 24V
Garantía del convertidor de corriente	2 años

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

7.2.2 Inversor seleccionado para la primera propuesta

Para la selección del inversor (el controlador requiere inversor MPPT), tomamos los 63 W correspondientes a la potencia total por hora necesarias para suplir las luminarias que pertenecen al sistema fotovoltaico, adicionalmente le sumamos 15.75 Wh que comprenden un 25 % de sobredimensionamiento, para un total de 78.75 Wh que es el valor a proveer a través del respectivo inversor. Normalmente los inversores que trabajan a una tensión de 12V como se requiere en este caso, tienen eficiencias alrededor del 80% por lo que es necesario realizar una conversión de Watts a VA debido a que la selección de este equipo en algunos catálogos se da mediante la potencia aparente. A continuación, podemos visualizar con mayor detalle los cálculos requeridos para determinar la potencia aparente y con esta realizar la selección del inversor requerido.

$$VA = \frac{W}{FP} \quad (3)$$

$$S = \frac{78.75}{0.87}$$

$$S \sim 90.5 [VA]$$

En la Figura 43 se aprecia el inversor seleccionado y en la Tabla 16 se observan sus especificaciones técnicas.

Figura 51.*Inversor Phoenix 12/250 VE. Direct**Nota:* Tomada de la ficha técnica del fabricante**Figura 52.***Características del inversor seleccionado para la primera propuesta*

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont. a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga)		Desconexión dinámica, ver				
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)		https://www.victronenergy.com/live/ve.direct: phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

7.2.3 Batería seleccionada para la primera propuesta

Para la selección de la batería de nuestra primera propuesta de diseño, tomamos el consumo de 756 Wh/día el cual lo dividimos por la tensión del sistema de baterías, en este caso 12V, en donde nos queda 63 Ah/día, siendo esta la energía en Ah que consumiremos a lo largo de la noche. Además, lo recomendable es sobredimensionar entre un 20% y un 30%, para este caso fue de 25% para tener mayor capacidad de almacenaje en caso de anomalías como por ejemplo un mal tiempo. Para que no haya una descarga mayor del 50% de la batería (porque se deteriora la vida útil de la batería) multiplicamos el consumo por 2. A continuación se aprecian los respectivos cálculos para esta selección.

$$C \text{ (consumo diario)} = 756 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Sobredimensionamiento} = 1.25$$

$$V \text{ (tensión del sistema de baterías)} = 12$$

$$I_r \text{ (corriente requerida para seleccionar la batería)} = \text{Ah}$$

$$\frac{C * 1.25}{V} \quad (4)$$

$$\frac{756 * 1.25}{12}$$

$$78,75 \text{ [Ah]} * (2)$$

$$I_r = 157.5 \text{ [Ah]}$$

De los cálculos obtenidos anteriormente, se realizó la selección de la batería en donde comercialmente se eligió la más apropiada para esta primera propuesta. En la figura 44 se aprecia la batería seleccionada, en la Tabla 17 se observan las dimensiones y características y en la Tabla 18 las especificaciones técnicas.

Figura 53.

Batería TB12-200 Gel (12V 200AH)



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

Figura 54.

Características de la batería seleccionada primera propuesta

Tension nominal		12V
Capacidad nominal (10 tasa de horas)		200AH
Peso aproximado		60,2 kg
Terminal	Estándar	I3-M8 Insert
	Opcional	
Largo mm		488
Ancho mm		239
Alto sin terminal mm		217
Resistencia Interna carga completa		2,5 mΩ
Temperatura de funcionamiento		
Cargo	0 C (32 F) ~ 40 C (104 F)	
Descarga	-20 C (-4 F) ~ 50 C (122 F)	
Almacenamiento	-20 C (-4 F) ~ 40 C (104 F)	

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

Figura 55.*Especificaciones de la batería seleccionada primera propuesta*

Capacidad 25 C (77 F)	10 Tasa de horas	(20A)	200AH
	3 Tasa de horas	(50A)	150AH
	1 Tasa de horas	(110A)	110AH
Capacidad afectada por la temperatura	40 C (104 F)		108%
	25 C (77 F)		100%
	0 C (32 F)		83%
Auto-descarga en 25 C (77 F) (Antes de recargar)	-15 C (5 F)		60%
	Cap. después de 3 meses		91%
	Cap. después de 6 meses		82%
Carga de tensión constante	Cap. después de 12 meses		65%
	Ciclo	Corriente de carga inicial <60A 14.4V ~ 15V at 25 C (77F)	
	En espera	13.5V ~ 13.8V at 25 C (77 F)	
Capacida maxima de carga			1500A

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

7.2.4 Conductor AC seleccionado para la primera propuesta

Para la selección del conductor que alimenta las luminarias tipo bala led y tipo reflectores se realizó el cálculo de la corriente dividiendo la potencia del panel seleccionado entre la tensión de circuito abierto del mismo, como se observa a continuación.

$$I = \frac{P[W]}{V_{oc} [V]} \quad (5)$$

$$I = \frac{210 [W]}{23.95 [V]}$$

$$I = 8.77 [A]$$

Con la corriente calculada se procede a buscar el calibre del conductor en la tabla 310-16 de la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), el cual se seleccionó a través de un calibre que

suple esa corriente, para esta selección se determinó el calibre N°14 AWG de cobre de sección transversal de 2.08 mm^2 el cual soporta temperaturas inferiores a 75°C y corrientes menores a 15

A. La Tabla 19 nos muestra el conductor seleccionado

Figura 56.

Tabla 310-16 de la NTC 2050

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm ²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8

Luego, se diseñó una memoria de calculo que nos permite determinar la regulación, teniendo en cuenta que se utilizan datos como la longitud del tramo, demanda total del sistema a alimentar, el momento eléctrico el cual se calculó mediante el producto de la longitud y la demanda total, la constante generalizada (KG) obtenida de la Tabla 3.25 de la ESSA y la constante de regulación (K) adquirida de la división de la constante generalizada (KG) entre la tensión al cuadrado, teniendo en cuenta que esta regulación no debe superar el 3%. A continuación, se aprecia la Tabla 20 con los respectivos cálculos

Tabla 14.*Cálculos de regulación primera propuesta*

Propuesta	Longitud (m)	Total demanda (kVA)	Momento (kVA*m)	KG	K	Regulación %
1	170	0.063	10.71	927.36	0.0192	0.205632

Seguido de esto, se procede a realizar el cálculo de las pérdidas del conductor a través de todo el tramo. A continuación, se puede apreciar los respectivos cálculos para hallar la pérdida total del conductor

$$\% \text{ Pérdida total} = \frac{T}{P} = \frac{Cte^2 * R}{P} = \frac{\left(\frac{Dt}{\sqrt{3} * V}\right)^2 * (R_0 * l)}{P} \quad (6)$$

$$\% \text{ Pérdida total} = \frac{T}{P} = \frac{0.16533^2 * 1.7289}{63} = \frac{\left(\frac{0.063}{\sqrt{3} * 220}\right)^2 * (10.17 * 170)}{63}$$

$$\% \text{ Pérdida total} = 0.075 \%$$

Donde:

T: Pérdidas del conductor

P: Potencia total [W]

Cte: Tensión de arreglo fotovoltaico

R: Resistencia total [Ω]

V: Tensión [voltios]

Dt: Demanda total [W]

Ro: Resistencia del conductor [Ω *Km]

L: Longitud del tramo

El conductor tipo alambre generalmente tiene menores pérdidas debido a su material compacto que reduce pérdidas por calor y espacio, por ende, se seleccionó el conductor tipo alambre de Cu aislado THHN/THWN N°14 con diámetro de 2.08mm^2 para la fase y el neutro, en donde siguiendo el código de colores para fase sería negro y para el neutro azul, así mismo la selección del conductor de tierra es tipo alambre de Cu aislado THHN/THWN N°16 con diámetro de 1.31mm^2 de color verde. Los cables seleccionados comercialmente se encuentran en el catálogo ie (internacional de eléctricos) (IE Grupo, s.f.). En la Figura 45 se observa el conductor seleccionado.

Figura 57.

Conductor de alambre THHN/THWN seleccionado / CENTELSA



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

7.2.5 Conductor DC seleccionado para la primera propuesta

Para la selección del conductor DC que conecta el panel con el inversor, se tuvo en cuenta el diámetro del conductor AC seleccionado anteriormente, en donde se eligió el calibre N° 14 teniendo una sección transversal de 2.08mm^2 . En vista de que el conductor DC no se selecciona por calibre si no por la sección transversal del conductor AC, se buscó el valor más cercano a esta sección transversal, en donde se encontró que comercialmente el conductor DC de 4mm^2 es el

más próximo a los $2.08mm^2$ de la sección transversal del conductor AC. En la Figura 46 podemos apreciar el conductor DC seleccionado y en la Figura 47 sus respectivas características.

Figura 58.

Conductor DC seleccionado



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

Figura 59.

Características de conductor DC

Detalles rápidos			
Lugar del origen:	Zhejiang, China	Marca:	PNtech
Número de Modelo:	PV1-F 1x4mm2	Material aislante:	xlpe
Tipo:	Alto voltaje	Uso:	Central
Material conductor:	Tinned copper	Funda:	XLPE
Product name:	4mm2 solar power cable	Cable Type:	PV1-F 1x4mm2
Certificate:	TUV CE ROHS REACH	Conductor material:	Tinned copper wire
Construction:	56/0.30mm	Resistance:	5.09 Ω/km (MAX. at 20°C)
Diameter:	6.0mm	Thickness:	0.8mm
Cable Color:	Black/red	keyword:	solar power cable

Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

7.2.5 Ducteria seleccionada para la primera propuesta

Para la ducteria de la primera propuesta se seleccionó el tubo Conduit subterráneo no metálico de sección circular, hecho de un material resistente a la humedad y a los agentes corrosivos, siendo este el más adecuado para esta instalación según la norma NTC 2050 de la sección 343. Teniendo en cuenta que esta instalación está directamente enterrada, se debe considerar una distancia mínima de enterramiento, la cual se selecciona de la Tabla 300-5 de la NTC 2050 la cual nos indica que la distancia mínima debe ser de 60 cm. A continuación, se aprecia la Tabla 21 la distancia mínima de enterramiento

Tabla 15.

Requisitos mínimos de enterramiento en instalaciones de 0 V a 600 V nominales

Ubicación del método de cableado o circuito	Tipo de Método de Cableado o circuito				
	1 Cables o conductores directamente enterrados	2 Tubo conduit metálico rígido o intermedio	3 Canalizaciones no metálicas aprobadas para enterramiento directo sin cajón de concreto u otras canalizaciones aprobadas	4 Circuitos ramales para viviendas de 120 V nominales o menos con protección contra fallas a tierra y protección contra sobrecorriente máxima de 20 A	5 Circuitos de control de riego y alumbrado de parques, limitados a no más de 30 V e instalados con cables tipo UF o en otros cables o canalizaciones identificados
Todos los lugares no identificados a continuación	60	15	45	30	15
En zanjas por debajo de 5 cm. Concreto grueso o equivalente	45	15	30	15	15
Bajo una edificación	0 (sólo en canalizaciones)	0	0	0 (sólo en canalizaciones)	0 (sólo en canalizaciones)
Bajo un mínimo de 10 cm de espesor de baldosas de concreto para exteriores sin tráfico de vehículos y baldosas que no sobrepasen en más de 15 cm la instalación subterránea.	45	10	10	15 (directamente enterrado) ó 10 (en canalizaciones)	15 (directamente enterrado) ó 10 (en canalizaciones)
Bajo calles, carreteras, autopistas, avenidas, accesos vehiculares y estacionamientos	60	60	60	60	60
Accesos vehiculares y estacionamientos exteriores a viviendas uni y bifamiliares y utilizados sólo por sus habitantes	45	45	45	30	45
Sobre o bajo petas de carreteo de los aeropuertos, incluidas las zonas adyacentes cuando esté prohibido el paso	45	45	45	45	45

Seguido de esto se hace el respectivo cálculo del calibre del tubo Conduit, teniendo en cuenta que este no debe sobrepasar el 40% de su llenado. En la Tabla 22 se observa el calibre del ducto seleccionado mediante una memoria de cálculo, la cual nos indica que para nuestro diseño se ajusta un tubo Conduit de ½” con un llenado del 11.276%

Figura 60.

Calibre seleccionado de la ducteria

CALCULO DE DUCTERIA															% MAX										
															40										
TRAMO	MATERIAL	CONDUCTORES										SECCIÓN TOTAL (mm2)			DUCTO	% OCUPACIÓN X DUCTO									
DUCTO PROPUESTA 1	Cu	1	x	(	1	#	14	F	+	1	#	14	N	+	1	#	14	T	)	27.720	1	x	1/2"	245.84	11.276

Dicho lo anterior se realiza la selección del tubo PVC Conduit SCH40 de ½" el cual es el más indicado para la instalación ya que es tipo pesado. En la Figura 48 se aprecia el ducto seleccionado

Figura 61.

Tubo PVC SCH40 de ½" seleccionado



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

7.3 Dimensionamiento y selección del panel solar para la segunda propuesta

La potencia requerida para el sistema fotovoltaico de la segunda propuesta, requiere una alimentación de 2770 Wh/día aproximadamente para las luminarias tipo bala led y tipo reflector,

a esto se le suma 692.5 Wh/día correspondientes a un 25 % de sobredimensionamiento destinados para las diferentes pérdidas, para un total de 3462.5 Wh/día, considerando 12 horas de uso diario de dichas luminarias. Para este caso, es posible solventar la necesidad de Wh mencionada anteriormente mediante un panel solar con capacidad de 772.8 Watts o en su debido defecto 2 o más paneles que sumen este valor. A continuación, podemos visualizar con mayor detalle los cálculos requeridos para determinar la potencia a la que se va a seleccionar el panel solar.

$$Pr \text{ (potencia requerida para el panel)} = 2770 \text{ W}$$

$$P \text{ (potencia unitaria de consumo)} = 230.8 \text{ W}$$

$$h \text{ (horas de consumo aproximado de las luminarias)} = 12$$

$$H_{spm} \text{ (hora solar pico mínima)} = 4.48$$

$$\text{Sobredimensionamiento} = 1.25$$

$$\frac{P * h * 1.25}{H_{spm}} \quad (7)$$

$$\frac{230.8 * 12 * 1.25}{4.48}$$

$$Pr \sim 772.8 [W]$$

Para solventar la potencia requerida en este diseño, se plantea hacer uso de dos (2) paneles solares de 390 W en paralelo. En la Figura 49 se aprecia el panel seleccionado y en la Tabla 23 se pueden observar las especificaciones técnicas de dicho panel.

Figura 62.

Panel Solar 390W 24V Monocristalino PERC Eco Green



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

Figura 63.

Especificaciones eléctricas del panel solar seleccionado para el segundo diseño propuesto

ELECTRICAL DATA AT STC*					
Power output (Pmax)	380 W	385 W	390 W	395 W	400 W
Power tolerance	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W
Module efficiency	19.15 %	19.41 %	19.66 %	19.91 %	20.16%
Maximum power voltage (Vmp)	39.50 V	39.65 V	39.76 V	39.86 V	39.92 V
Maximum power current (Imp)	9.62 A	9.71 A	9.81 A	9.91 A	10.02 A
Open circuit voltage (Voc)	48.20 V	48.25 V	48.37 V	48.48 V	48.6 V
Short circuit current (Isc)	9.99 A	10.08 A	10.18 A	10.28 A	10.4 A

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

7.3.1 Controlador de carga seleccionado para la segunda propuesta

En la selección del controlador para la segunda propuesta, tomamos la corriente máxima de potencia del panel solar seleccionado anteriormente la cual es de 9.81 A lo cual es necesario multiplicar por dos debido a que son dos paneles los utilizados en esta propuesta, esto nos da como resultado 19.62A y en base a esta corriente, se eligió el controlador PWM de carga de 30A de 24V con pantalla LCD, que contiene características ideales y apropiado para esta instalación solar. En la Figura 50 se aprecia el controlador seleccionado y en la Tabla 24 sus respectivas características

Figura 64.

Controlador de carga 30A ML2430/ML2440



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

Figura 65.

Características del controlador seleccionado para la primera propuesta

Parameter	Value		
Model	ML2420	ML2430	ML2440
System voltage	12V/24VAuto		
No-load loss	0.7 W to 1.2W		
Battery voltage	9V to 35V		
Max. solar input voltage	100V(25°C) 90V(-25°C)		
Max. power point voltage range	Battery Voltage+ 2V to 75V		
Rated charging current	20A	30A	40A
Rated load current	20A		
Max. capacitive load capacity	10000uF		
Max. photovoltaic system input power	260W/12V 520W/24V	400W/12V 800W/24V	520W/12V 1040W/24V
Conversion efficiency	≤98%		
MPPT tracking efficiency	>99%		
Temperature compensation factor	-3mv/°C/2V (default)		
Operating temperature	-35°C to +45°C		
Protection degree	IP32		
Weight	1.4Kg	2Kg	2Kg
Communication method	RS232		
Altitude	≤ 3000m		
Product dimensions	210*151*59.5mm	238*173*72.5mm	238*173*72.5mm

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

7.3.2 Inversor seleccionado para la segunda propuesta

Para la selección del inversor de la segunda propuesta, tendremos en cuenta los mismos pasos de la primera propuesta para la selección de su respectivo inversor, cambiando el hecho de que la tensión a la cual se trabaja en este caso es de 24V, de esta forma los cálculos quedan de la siguiente forma:

$$VA = \frac{W}{FP} \quad (8)$$

$$S = \frac{288.5}{0.87}$$

$$S \sim 331.6 [VA]$$

Figura 66.

Inversor Phoenix 12/375 VE. Direct



Nota: Tomada de la ficha técnica del fabricante

Figura 67.*Características del inversor seleccionado para la segunda propuesta*

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga)		Desconexión dinámica, ver				
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)		https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				

7.3.1 Batería seleccionada para la segunda propuesta

Para la selección de la batería de nuestra segunda propuesta de diseño, tomamos el consumo de 2770 Wh/día aproximadamente, el cual lo dividimos por la tensión del sistema de baterías, en este caso disponemos de dos baterías de 12V en serie, por lo que se dividirá en 24V, en donde nos queda un valor de 115.4 Ah/día, siendo esta la energía en Ah que consumiremos a lo largo de la noche. Para que no haya una descarga mayor del 50% de la batería (porque deteriora la vida útil) multiplicamos el consumo x2. Además, lo recomendable es sobredimensionar un 25% para tener mayor capacidad de almacenaje en caso de un mal tiempo. A continuación, se aprecian los respectivos cálculos para esta selección.

$$C \text{ (consumo diario)} = 2770 \text{ Wh/día}$$

$$\text{Sobredimensionamiento} = 1.25$$

Figura 69.

Características de la batería seleccionada segunda propuesta

Capacidad nominal (10 tasa de horas)	150AH	
Peso aproximado	42,6 kg	
Terminal	Estándar	I3-M8 Insert
	Opcional	
Largo mm	494	
Ancho mm	170	
Alto sin terminal mm	241	
Temperatura de funcionamiento		
Cargo	0 C (32 F) ~ 40 C (104 F)	
Descarga	-20 C (-4 F) ~ 50 C (122 F)	
Almacenamiento	-20 C (-4 F) ~ 40 C (104 F)	

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

Figura 70.

Especificaciones de la batería seleccionada segunda propuesta

Capacidad 25 C (77 F)	10 Tasa de horas	(15A)	150AH
	3 Tasa de horas	(37,5A)	113AH
	1 Tasa de horas	(82,5A)	83AH
	40 C (104 F)		108%
Capacidad afectada por la temperatura	25 C (77 F)		100%
	0 C (32 F)		83%
	-15 C (5 F)		60%
Auto-descarga en 25 C (77 F) (Antes de recargar)	Cap. después de 3 meses		91%
	Cap. después de 6 meses		82%
	Cap. después de 12 meses		65%
Carga de tensión constante	Ciclo	Corriente de carga inicial <45A 14.4V ~ 15V at 25 C (77F)	
	En espera	13.5V ~ 13.8V at 25 C (77 F)	

Nota: la tabla contiene datos técnicos tomados del fabricante.

7.3.4 Conductor AC seleccionado para la segunda propuesta

Para la selección del conductor que alimenta las luminarias tipo bala led y tipo reflectores se realizó el cálculo de la corriente dividiendo la potencia del panel seleccionado entre la tensión de circuito abierto del mismo, en vista de que se seleccionaron dos paneles para este diseño, multiplicamos la corriente hallada por dos, como se observa a continuación.

$$I = \frac{P[W]}{V_{oc} [V]} \quad (10)$$

$$I = \frac{390 [W]}{48.37 [V]}$$

$$I = 8.06[A]$$

$$I = 8.06 * (2)[A]$$

$$I = 16.12[A]$$

Con la corriente calculada se procede a buscar el calibre del conductor en la tabla 310-16 de la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), el cual se seleccionó a través de un calibre que suple esa corriente, para esta selección se determinó el calibre N°12 AWG de cobre de sección transversal de 3.30 mm^2 el cual soporta temperaturas inferiores a 75°C y corrientes menores a 20 A. La Tabla 28 nos muestra el conductor seleccionado

Figura 71.

Tabla 310-16 de la NTC 2050

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8

Luego, se diseñó una memoria de calculo que nos permite determinar la regulación, teniendo en cuenta que se utilizan datos como la longitud del tramo, demanda total del sistema a alimentar, el momento eléctrico el cual se calculó mediante el producto de la longitud y la demanda total, la constante generalizada (KG) obtenida de la Tabla 3.25 de la ESSA y la constante de regulación (K) adquirida de la división de la constante generalizada (KG) entre la tensión al cuadrado, teniendo en cuenta que esta regulación no debe superar el 3%. A continuación, se aprecia la Tabla 29 con los respectivos cálculos

Tabla 16.

Cálculos de regulación segunda propuesta

Propuesta	Longitud (m)	Total demanda (kVA)	Momento (kVA*m)	KG	K	Regulación %
2	170	0.231	39.27	583.52	0.0121	0.475167

Seguido de esto, se procede a realizar el cálculo de las pérdidas del conductor a través de todo el tramo. A continuación, se puede apreciar los respectivos cálculos para hallar la pérdida total del conductor

$$\% \text{ Pérdida total} = \frac{T}{P} = \frac{Cte^2 * R}{P} = \frac{\left(\frac{Dt}{\sqrt{3} * V}\right)^2 * (R_0 * l)}{P} \quad (11)$$

$$\% \text{ Pérdida total} = \frac{T}{P} = \frac{0.60622^2 * 1.1152}{230} = \frac{\left(\frac{0.231}{\sqrt{3} * 220}\right)^2 * (6.56 * 170)}{230}$$

$$\% \text{ Pérdida total} = 0.1774 \%$$

Donde:

T: Pérdidas del conductor

P: Potencia total [W]

Cte: Tensión de arreglo fotovoltaico

R: Resistencia total [Ω]

V: Tensión [voltios]

Dt: Demanda total [W]

Ro: Resistencia del conductor [Ω *Km]

L: Longitud del tramo

El conductor tipo alambre generalmente tiene menores perdidas debido a su material compacto que reduce perdidas por calor y espacio, por ende, se seleccionó el conductor tipo alambre de Cu aislado THHN/THWN N°12 con diámetro de $3.30mm^2$ para la fase y el neutro, en donde siguiendo el código de colores para fase seria negro y para el neutro azul, así mismo la selección del conductor de tierra es tipo alambre de Cu aislado THHN/THWN N°14 con diámetro

de 2.08 mm^2 de color verde. Los cables seleccionados comercialmente se encuentran en el catálogo ie (internacional de eléctricos). En la Figura 53 se observa el conductor seleccionado

Figura 72.

Conductor de alambre THHN/THWN seleccionado



Nota: Tomada de: JE Grupo (s.f.) Página principal Recuperado de: <https://www.iegrupo.co/>

7.3.5 Conductor DC seleccionado para la segunda propuesta

Para la selección del conductor DC que conecta el panel con el inversor, se tuvo en cuenta el diámetro del conductor AC seleccionado anteriormente, en donde se eligió el calibre N° 12 teniendo una sección transversal de 3.30 mm^2 . En vista de que el conductor DC no se selecciona por calibre si no por la sección transversal del conductor AC, se buscó el valor más cercano a esta sección transversal, en donde se encontró que comercialmente el conductor DC de 4 mm^2 es el más próximo a los 3.30 mm^2 de la sección transversal del conductor AC, eligiendo el mismo cable seleccionado anteriormente para la primera propuesta.

7.3.6 Ducteria seleccionada para la segunda propuesta

Para la ducteria de la segunda propuesta se seleccionó de igual forma a la primera propuesta, eligiendo el tubo Conduit subterráneo no metálico de sección circular, teniendo en cuenta la norma NTC 2050 de la sección 343. Teniendo en cuenta que ira que para esta propuesta el ducto también ira enterrado directamente en la tierra por lo cual la distancia mínima de enterramiento también será de 60 cm. Seguido de esto se hace el respectivo cálculo del calibre del tubo Conduit, teniendo en cuenta que este no debe sobrepasar de igual forma el 40% de su llenado. En la Tabla 30 se observa el calibre del ducto seleccionado mediante una memoria de cálculo, la cual nos indica que para nuestro diseño se ajusta un tubo Conduit de 1/2" con un llenado del 13.577%

Figura 73.

Calibre seleccionado de la ducteria

CALCULO DE DUCTERIA															% MAX										
															40										
TRAMO	MATERIAL	CONDUCTORES													SECCIÓN TOTAL (mm2)			DUCTO	% OCUPACIÓN X DUCTO						
DUCTO PROPUESTA 2	Cu	1	x	(	1	#	12	F	+	1	#	12	N	+	1	#	14	T	)	33.378	1	x	1/2"	245.84	13.577

Dicho lo anterior se realiza la selección del ducto, el cual es el mismo que se seleccionó anteriormente para la primera propuesta, siendo también adecuado el tubo PVC Conduit SCH40 de 1/2" tipo pesado.

8. Vida útil de los equipos seleccionados

En la Tabla 31 se observa el tiempo de vida útil de los equipos seleccionados en cada una de las propuestas de diseño.

Figura 74.

Vida útil de los equipos

VIDA UTIL		
EQUIPO	PRIMERA PROPUESTA	SEGUNDA PROPUESTA
Bala Led	40.000 [horas]	35.000 [horas]
Reflector	42.000 [horas]	45.000 [horas]
Solar integrada	50.000 [horas]	100.000 [horas]
Panel	30 [años]	25 [años]
Bateria	1.550 [ciclos] a 50%	1.550 [ciclos] a 50%
Inversor	10 [años]	12 [años]
Controlador	4 [años]	7 [años]

9. Presupuesto de diseños de iluminación propuestos

Para tener una base detallada de los equipos que se utilizaran en cada propuesta de iluminación se realizaron las Tablas 32 y 33 con un aproximado costo de inversión, especificando los equipos y elementos requeridos con sus respectivos valores comerciales.

Tabla 17.

Presupuesto de la primera propuesta

Ítem	Equipos	Medida	No. Equipos	Valor Unitario	Valor Total
1	Panel Solar 210W 12V Monocrystalino Restar Solar	Und	1	\$513,000.00	\$513,000.00
2	Controlador de carga 20A PWM 12 - 24V LCD	Und	1	\$81,667.00	\$81,667.00
3	Inversor Phoenix 12/375 VE. Direct	Und	1	\$344,749.00	\$344,749.00
4	Batería TB12-200 Gel (12V 200AH)	Und	1	\$1,441,994.00	\$1,441,994.00
5	Conductor THHN/THWN No 12	m	400	\$1,615.00	\$646,000.00
6	Conductor THHN/THWN No 14	m	200	\$1,049.00	\$209,800.00
7	Balas pathe G/r3 1W led3k	Und	47	\$69,900.00	\$3,285,300.00
8	Reflector Led cob 8W	Und	2	\$19,500.00	\$39,000.00
9	Led solar integrada s40	Und	9	\$907,000.00	\$8,163,000.00
10	Tubo PVC Conduit SCH40 1/2" Tipo pesado	m	170	\$9,558.00	\$1,624,860.00
11	Curva Conduit SCH40 1/2"	Und	12	\$1,863.00	\$22,356.00
12	Cable solar 4 mm2	m	2	\$1,604.00	\$3,208.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$16,374,934.00
IVA				19%	\$3,111,237.46
VALOR TOTAL					\$19,486,171.46

Tabla 18.

Presupuesto de la segunda propuesta

Ítem	Equipos	Medida	No. Equipos	Valor Unitario	Valor Total
1	Panel Solar 390W 24V Monocrystalino PERC Eco Green	Und	2	\$603,279.00	\$1,206,558.00
2	Controlador de carga 30A ML2430/ML2440	Und	1	\$436,074.00	\$436,074.00

Ítem	Equipos	Medida	No. Equipos	Valor Unitario	Valor Total
3	Inversor Phoenix 12/375 VE. Direct	Und	1	\$536,195.00	\$536,195.00
4	Batería TB12-150 Gel (12V 150AH)	Und	2	\$1,174,352.00	\$2,348,704.00
5	Conductor THHN/THWN No 14	m	400	\$1,049.00	\$419,600.00
6	Conductor THHN/THWN No 16	m	200	\$890.00	\$178,000.00
7	Balas pathe G/r3 4.4W led 3k	Und	47	\$89,900.00	\$4,225,300.00
8	Reflector Led cob 12W	Und	2	\$29,900.00	\$59,800.00
9	Led solar integrada pro s40	Und	9	\$1,107,000.00	\$9,963,000.00
10	Tubo PVC Conduit SCH40 1/2" Tipo pesado	m	170	\$9,558.00	\$1,624,860.00
11	Curva Conduit SCH40 1/2"	Und	12	\$1,863.00	\$22,356.00
12	Cable solar 4 mm2	m	3	\$1,604.00	\$4,812.00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$21,025,259.00
IVA				19%	\$3,994,799.21
VALOR TOTAL					\$25,020,058.21

10. Selección de la mejor propuesta de iluminación para el diseño

Para la selección de la mejor propuesta se tendrán en cuenta diferentes aspectos en donde es necesario analizar las ventajas y desventajas, lo que podría ofrecernos cada alternativa y a través de esto ponderar y elegir la mejor propuesta

Empezaremos el análisis mediante una serie de comparaciones respecto a las luminarias utilizadas en cada una de las propuestas, para las cuales recalcamos que presentan características muy similares y sus principales diferencias provienen de la potencia que consumen. En la primera propuesta, para el sistema fotovoltaico encargado de alimentar las luminarias tipo bala led y tipo

reflectores consume un total de 63 Watts, en cambio, para la segunda propuesta se requiere un consumo de 230 Watts, lo anterior implica que la segunda propuesta ofrece mayor uniformidad luminosa en el diseño de iluminación debido a las características de las luminarias pero a costa de una inversión de \$14 248 100 que es un valor monetario más alto que la inversión de \$ 11 487 300 correspondiente a la primera propuesta refiriéndonos solamente a costos de las luminarias.

La potencia requerida por cada propuesta está relacionada directamente con las exigencias que debe suplir el sistema fotovoltaico encargado de la alimentación de estos, en el cual observamos nuevamente que la segunda propuesta conlleva mayores costos en la inversión, con \$ 4 527 531 en comparación con los \$ 2 381 410 de la primera propuesta, esto en relación a los elementos sin contar con aspectos como cablearía y derivados, mano de obra, entre otros, donde se observa que el sistema fotovoltaico de la primera propuesta necesita un menor número de paneles solares, menor número de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica y menores propiedades en las características del controlador e inversor que son los demás elementos que conforman este sistema, asimismo, requieren menor espacio a utilizar y con lo cual reducen también la contaminación visual que generan los sistemas fotovoltaicos.

En relación a las luminarias tipo solar autosustentable, se conserva el comportamiento de las luminarias tipo bala led y tipo reflectores, en donde la segunda propuesta ofrece mayor uniformidad luminosa, pero a mayor costo.

Las dos propuestas cumplen con los estándares mínimos de niveles de iluminación para los espacios de exterior y fachadas del lugar, en consecuencia, se determinó que los mayores costos requeridos para la segunda propuesta resultan innecesarios debido a que la primera propuesta proporciona también una solución a las necesidades expuestas a través de menores costos y conservando la calidad, de igual forma, se respalda mediante el ahorro energético como factor

inteligente para impulsar los sistemas autosustentables. A continuación, en la Tabla 34 se muestra una tabla comparativa de ventajas y desventajas de las dos propuestas de iluminación y en la Figura 54 se presenta el diagrama unifilar del sistema solar FV de la primera propuesta la cual fue seleccionada.

Tabla 19.

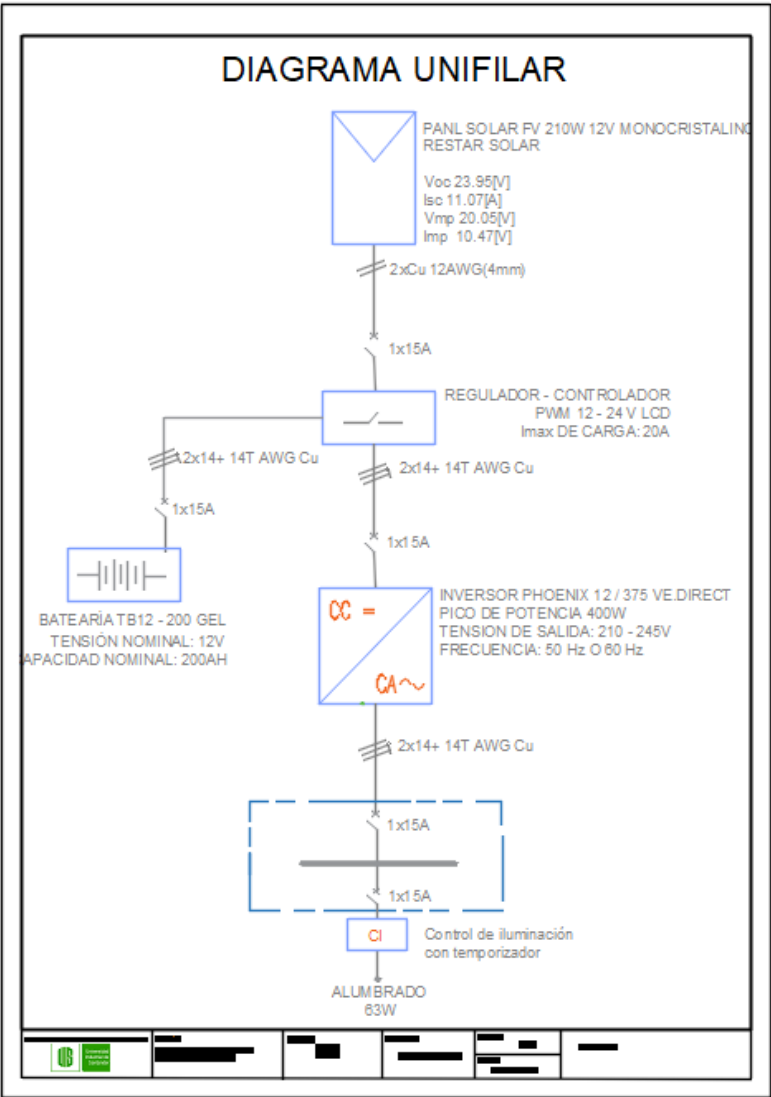
Ventajas y desventajas de las dos propuestas de diseño

Propuesta 1		Propuesta 2	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Iluminación con alimentación mediante aprovechamiento de energía solar FV	Requiere un espacio adicional para el nuevo sistema fotovoltaico	Iluminación con alimentación mediante aprovechamiento de energía solar FV	Requiere un espacio adicional para el nuevo sistema fotovoltaico
Se requiere un consumo bajo de Watts	Presenta menor uniformidad luminosa en los espacios aledaños a los más transitados	Presenta excelente uniformidad en los espacios más transitados	Requiere mayor consumo de Watts
Requiere menor número de paneles			Requiere mayor número de paneles
Requiere menor número de baterías			Requiere mayor número de baterías
Requiere menores características de los equipos a implementar			Requiere mayores características de los equipos a implementar
Es menor el costo de inversión para la adquisición de los elementos			Es mayor el costo de inversión para la adquisición de los elementos
El tiempo de vida útil de los equipos es de larga duración		El tiempo de vida útil de los equipos es de larga duración	

Propuesta 1		Propuesta 2	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Requieren poco mantenimiento		Requieren poco mantenimiento	
Menor contaminación visual		Mayor contaminación visual	
Cumplen niveles mínimos de iluminación		Cumplen niveles mínimos de iluminación	

Figura 75.

Diagrama unifilar de la primera propuesta seleccionada



11. Conclusiones

Se identificaron falencias en el sistema de iluminación de la fachada y exteriores del edificio E3T, consistentes en baja luminosidad en las áreas adyacentes a el edificio, producto de la ausencia de postes de alumbrado en los exteriores y carencia de un diseño lumínico estético y moderno, el cual presenta escasez de elementos que cumplan la función de proporcionar luz de manera adecuada cumpliendo con los cánones normativos actuales.

Se indago y se comprobó mediante estudios y herramientas de software de simulación que es posible solventar las falencias detectadas y además utilizar materiales e insumos que hoy en día ofrece el mercado eléctrico colombiano, garantizando así que la E3T de la UIS cree un modelo de iluminación basado en energía solar FV como fuente de alimentación del sistema.

En tal virtud, se ejecutó un diseño contemplando dos propuestas de iluminación para la fachada y exteriores del edificio E3T en el cual se establecieron parámetros y limitantes a nivel técnico, tiempo y costos, implementando energía solar FV y analizando estas alternativas para ponderar la mejor solución

Se comprobó el cumplimiento de los niveles mínimos de luminosidad exigidos por la normativa en el diseño de iluminación para los espacios de fachada y exteriores del edificio E3T utilizando el software DIALux.

En este trabajo de investigación se precisó el uso de la energía solar FV como fuente única de alimentación del diseño de iluminación para la fachada y exteriores del edificio E3T, donde se logró implementar esta tecnología fomentando el uso de los recursos naturales como mecanismo de respuesta frente a las diferentes situaciones climáticas que vive actualmente el planeta tierra.

Se seleccionó el mejor diseño con base en los entregables, los cuales incluyen las memorias de cálculo, planos en AutoCAD, modelado en DIALux y presupuestos de inversión.

Se estableció el parámetro de costos como el principal ítem al momento de seleccionar la mejor propuesta, debido a que las dos alternativas planteadas contaban con características similares y cumplían con los niveles mínimos de luminosidad establecidos para las áreas seleccionadas.

Se determinó en el diseño seleccionado utilizar como estructura de base para el sistema solar FV el lugar destinado para el estacionamiento de bicicletas, de esta forma se optimiza el espacio el cual de manera adicional ofrece sombra a estos vehículos.

Referencias bibliográficas

- Alvarado Guanin, C. E. (2015). *Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaico para una parada de autobuses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de cuenca*. Cuenca - Ecuador: (Tesis) Universidad Politécnica Salesiana.
- Carrillo Niño, J., & Barón Albarracin, C. E. (2020). *Implementación de un sistema fotovoltaico como una alternativa al uso de energía convencional en el instituto educativo cauchos sede a, en el municipio de mogotes, departamento de Santander*. Bucaramanga: (Trabajo de Grado) Unidades Tecnológicas de Santander.
- Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. *Ciencia Política*, 13(25), 110.
- IE Grupo. (s.f.). *Página Principal*. Obtenido de <https://www.iegrupo.co/>
- Krautter Martin, S. T. (2009). Media details. Light Perspectives reference book. *Germany*. ERCO, 12.
- Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Transición energética de Colombia: Memorias al congreso*.
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia*.
- Plá, J., Bolzi, C., & Durán, J. C. (2018). Energía solar fotovoltaica. Generación distribuida conectada a red. Argentina. *CONICET. Tomo 68 N° 1*, 51.
- Severiche-Sierra, C., Gómez-Bustamante, E., & Jaimes-Morales, J. (2016). La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. *Telos*, 18 (2), 272.