

Diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica en zonas comunes exteriores no iluminadas de la
Universidad Industrial de Santander sede principal

Andrés Felipe Jaimes Puentes

Yorman David Guerrero Jiménez

Andrés Guillermo Torres Herrera

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingenieros Electricistas

Director:

MBA(C). Rolando Andrés Rincón Saravia

Co-Director:

PhD. Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico Mecánicas

Escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2023

Este logro va dedicado primero a Dios por todas sus bendiciones en este largo camino, porque nunca me dejó rendirme y me llevó paso a paso en la perfección de su tiempo.

A mi madre Beatriz Herrera, quién ha sido mi más grande apoyo, mi motor, mi amor eterno e incondicional. Te amo demasiado.

A mi padre Guillermo Torres, quién ha sido fundamental para forjar la persona que soy hoy día, amigo y consejero, gracias por tus enseñanzas. Te amo.

A mi abuela Edilma Camacho, mi segunda madre, quien con su gran corazón ha llenado cada uno de mis días de mucho amor y felicidad.

A mi abuelo Cipriano Herrera, mi segundo padre, quien ha estado siempre apoyándome y brindándome todo su amor y enseñanzas.

A mi tía Yolanda Herrera, mi tercera mamita, gracias por el apoyo incondicional, por confiar en mí y brindarme tanto amor.

A mi pareja quién me ha acompañado, apoyado y comprendido en gran parte de este largo y duro camino.

A mis angelitos, mis tías Ilda y Sandra Torres, mi bisabuela Juliana Soto. Aunque no estén físicamente, sé que desde el cielo celebran conmigo.

A toda mi familia, que siempre me han apoyado y confiado en mí, esto es por y para ustedes, gracias. Los amo.

A mis amigos y todas esas personas especiales que han hecho parte de mi proceso como persona.

ANDNRÉS GUILLERMO TORRES HERRERA

Agradecimientos

Primero a Dios por sus bendiciones. A todas las personas que han hecho parte de nuestro proceso de aprendizaje. A todos esos amigos y compañeros que nos deja nuestra amada institución. A nuestro director Rolando Rincón por darnos la oportunidad y el voto de confianza cuando más lo necesitábamos. A nuestro codirector Oscar Quiroga por brindarnos su apoyo.

Tabla de contenido

Introducción	13
1. Generalidades.....	15
1.1 Descripción general.....	15
1.2 Objetivo general	15
1.2.1 Objetivos específicos	15
2. Marco referencial	17
2.1 Definiciones	17
2.2 Antecedentes investigativos	20
2.3 Marco teórico	27
2.3.1 Sistemas de iluminación	27
2.3.2 Tecnologías de sistemas de iluminación	27
2.3.3 Iluminación en zonas comunes.....	30
2.3.4 Sistema fotovoltaico	34
2.3.5 Irradiancia solar	35
2.3.6 Sistemas de iluminación fotovoltaica	39
2.3.7 Sistemas de control de iluminación	39
2.3.7.1 Tipos de sistemas de control de iluminación	40
3. Metodología	42
4. Resultados	43
4.1 Identificación de zonas comunes exteriores.....	43
4.2 Levantamiento de información para el desarrollo de sistemas de iluminación fotovoltaica	50
4.2.1 Delimitación de área de estudio.....	50
4.2.2 Medición de nivel de iluminación	55
4.3 Diseño del sistema de iluminación fotovoltaica.....	57
4.3.1 Mesas de ping pong	60
4.3.1.1 Criterios de diseño.....	60
4.3.1.2 Diseño propuesto en DIALux EVO	60
4.3.1.3 Resultados de la simulación en Dialux EVO	61
4.3.2 Skate Park	62
4.3.2.1 Criterios de diseño.....	62
4.3.2.2 Diseño propuesto en DIALux EVO	63

4.3.2.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO	63
4.3.3 Gimnasio al aire libre	64
4.3.3.1 Criterios de diseño.....	64
4.3.3.2 Diseño propuesto en DIALux EVO	65
4.3.3.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO	66
4.3.4 Área de descanso bienestar estudiantil	67
4.3.4.1 Criterios de diseño.....	67
4.3.4.2 Diseño propuesto en DIALux EVO	67
4.3.4.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO	68
4.3.5 Vía portería cra 25 hasta el invernadero y parqueaderos de edificios Jorge Bautista y Facultad de ingenierías físico-mecánicas	69
4.3.5.1 Criterios de diseño.....	69
4.3.5.2 Diseño propuesto en DIALux EVO	71
4.3.5.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO	72
4.3.6 Tableros de estudio al aire libre.....	74
4.3.6.1 Criterios de diseño.....	74
4.3.6.2 Diseño propuesto en Dialux	75
4.3.6.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO	76
4.4 Evaluación del sistema de control de iluminación	79
4.5 Presupuesto de inversión para implementación del sistema de iluminación	83
5. Conclusiones.....	86
Referencias Bibliográficas	88

Lista de Figuras

Figura 1. LED – Principio de emisión de luz.....	28
Figura 2. Elementos de un sistema solar fotovoltaico	35
Figura 3. Esquema metodológico	42
Figura 4. a. Mesas de Ping Pong / b. Skate Park	43
Figura 5. a. Gimnasio al aire libre. / b. Área de descanso Bienestar Estudiantil.....	44
Figura 6. a. Sector del Lago. / b. Sector del Bosque.....	44
Figura 7. a. Vía portería cra 25 hasta el invernadero. / b. Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas / c. Parqueadero edificio Jorge Bautista.....	44
Figura 8. a. Tablero de estudio 1. / b. Tablero de estudio 2. / c. Tablero de estudio 3.....	45
Figura 9. Encuesta de opinión Comunidad UIS.....	46
Figura 10. a. Mesas de Ping pong / b. Skate Park.....	47
Figura 11. a. Gimnasio al aire libre / b. Zona de descanso bienestar estudiantil.....	48
Figura 12. a. Sector del Lago. / b. Sector del Bosque.....	48
Figura 13. a. Vía portería cra 25 hasta el invernadero. / b. Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas.....	49
Figura 14. a. Parqueadero edificio Jorge Bautista / b. Tablero de estudio 1	49
Figura 15. a. Tablero de estudio 2. / b. Tablero de estudio 3.....	49
Figura 16. a. Delimitación del área de las mesas de Ping Pong / b. Delimitación del área del Skate Park	51
Figura 17. a. Delimitación del gimnasio al aire libre / b. Delimitación de zona de descanso bienestar estudiantil	51
Figura 18. Vía portería cra 25 hasta el invernadero.....	52
Figura 19. a. Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas / b. Parqueadero edificio Jorge Bautista.....	52
Figura 20. a. Tablero de estudio 1. / b. Tablero de estudio 2. / c. Tablero de estudio 3.....	53
Figura 21. Erasmus ELL – 400 Led Light Meter.....	54
Figura 22. a. Mediciones del área de mesas de Ping Pong / b. Mediciones del Skate Park	55
Figura 23. a. Mediciones del gimnasio al aire libre / b. Mediciones de la zona de descanso bienestar estudiantil.....	56

Figura 24. Mediciones de la vía portería cra 25 hasta la cafetería lateral del edificio ingeniería Industrial	56
Figura 25. a. Mediciones del área del tablero de estudio 1 / b. Mediciones del área del tablero de estudio 2	56
Figura 26. Mediciones del área del tablero de estudio 3.....	57
Figura 27. Mediciones del parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas / Mediciones del Parqueadero edificio Jorge Bautista	57
Figura 28. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el área de las mesas de ping pong	60
Figura 29. Propuesta de diseño en las mesas de ping pong	60
Figura 30. Vista 2D y 3D del espectro luminoso de las mesas de ping pong	61
Figura 31. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el Skate Park	62
Figura 32. Propuesta de diseño en el Skate Park	63
Figura 33. Vista 2D y 3D del espectro luminoso del Skate park	63
Figura 34. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el gimnasio al aire libre	65
Figura 35. Propuesta de diseño en el gimnasio al aire libre.....	65
Figura 36. Vista en 2D y 3D del espectro luminoso del gimnasio al aire libre	66
Figura 37. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el área de descanso bienestar estudiantil.....	67
Figura 38. Propuesta de diseño en el área de descanso bienestar estudiantil	67
Figura 39. Vista 2D y 3D del espectro luminoso en el área de descanso Bienestar Estudiantil..	68
Figura 40. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del rediseño en la vía.....	70
Figura 41. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del rediseño del parqueadero del edificio Jorge Bautista.....	70
Figura 42. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del rediseño del parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas.....	71
Figura 43. a. Propuesta de diseño en la vía portería cra 25 y parqueadero del edificio Jorge Bautista	71
Figura 44. Propuesta de diseño en el parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas	71
Figura 45. a. Vista 2D y 3D del espectro luminoso de la vía portería cra 25.	72

Figura 46. Vista 2D y 3D del espectro luminoso del parqueadero del edificio Jorge Bautista. ..	73
Figura 47. Vista 2D y 3D del espectro luminoso del parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas.....	73
Figura 48. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del Tablero 1.	75
Figura 49. Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del tablero 2 y tablero 3.....	75
Figura 50. a. Propuesta inicial de diseño en el tablero 1 / b. Propuesta inicial de diseño en el tablero 2.....	75
Figura 51. Propuesta inicial de diseño en el tablero 3	76
Figura 52. Vista 2D y 3D del espectro luminoso del tablero 1	76
Figura 53. Vista 2D y 3D del espectro luminoso del tablero 2.....	77
Figura 54. Vista 2D Y 3D del espectro luminoso del tablero 3.....	78
Figura 55. Comportamiento del control de iluminación de la vía portería cra 25 y parqueaderos.	81
Figura 56. Comportamiento del control de iluminación del gimnasio al aire libre	81
Figura 57. Comportamiento del control de iluminación de las mesas de ping pong y tableros al aire libre	82
Figura 58. Comportamiento del control de iluminación de zona de bienestar	82
Figura 59. Comportamiento del control de iluminación de Skate Park.....	83

Lista de Tablas

Tabla 1. Carga instalada en terrazas del quinto y sexto piso	25
Tabla 2. Clases de iluminación para calles en áreas peatonales y ciclistas	31
Tabla 3. Clases de iluminación para vías vehiculares.....	32
Tabla 4. Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio (lx) en vías motorizadas	33
Tabla 5. Clasificación de superficies según el factor S1	33
Tabla 6. Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías vehiculares	34
Tabla 7. Energía promedio anual	36
Tabla 8. Radiación promedio diaria, máxima y mínima.....	37
Tabla 9. Temperatura promedio, máxima y mínima.....	38
Tabla 10. Especificaciones técnicas del equipo de medición	54
Tabla 11. Mediciones del nivel de iluminación para cada área de estudio.....	55
Tabla 12. Especificaciones técnicas Led solar integrada S60 PRO NW	58
Tabla 13. Especificaciones técnicas Led solar integrada S80 PRO 6K.....	58
Tabla 14. Especificaciones técnicas Kit solar SYLFLOOD 80W 100P LI.....	59
Tabla 15. Cantidades de luminarias y detalles de montaje en las mesas de ping pong	61
Tabla 16. Resultados obtenidos en la simulación del diseño de las mesas de ping pong.....	62
Tabla 17. Cantidades de luminarias y detalles de montaje en el Skate Park	63
Tabla 18. Resultados obtenidos en la simulación del diseño del Skate park.....	64
Tabla 19. Cantidades de luminarias y detalles de montaje del gimnasio al aire libre	65
Tabla 20. Resultados obtenidos en la simulación del diseño del gimnasio al aire libre	66
Tabla 21. Cantidades de luminarias y detalles de montaje del área de descanso Bienestar Estudiantil	68
Tabla 22. Resultados obtenidos en la simulación del diseño en el área de descanso Bienestar Estudiantil	68
Tabla 23. Cantidades de luminarias y detalles de montaje de la vía portería cra 25 y los parqueaderos	72
Tabla 24. Resultados obtenidos en la simulación del diseño de la vía portería cra 25.....	74
Tabla 25. Cantidades de luminarias y detalles de montaje de la vía portería cra 25 y los parqueaderos	76

Tabla 26. Resultados obtenidos en la simulación del diseño de los tableros.....	78
Tabla 27. Listado de materiales	83
Tabla 28. Presupuesto de inversión	84

Resumen

Título: Diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica en zonas comunes exteriores no iluminadas de la Universidad Industrial de Santander sede principal.

Autor: Andrés Felipe Jaimes Puentes, Yorman David Guerrero Jiménez, Andrés Guillermo Torres Herrera.

Palabras claves: iluminación fotovoltaica, RETILAP, sistemas de control, dimerizable, iluminancia, uniformidad.

Descripción: Colombia experimenta un cambio en su matriz energética con proyectos solares y eólicos, por tanto, es importante aprovechar este tipo de tecnología, para lo cual esta investigación tiene como objetivo general diseñar sistemas de iluminación fotovoltaica para las áreas comunes exteriores de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander, con el fin de proporcionar seguridad y bienestar a la comunidad. Para lograrlo, se acudió a la metodología de investigación aplicada, para la cual primero se identificaron las zonas sin iluminación o con sistemas obsoletos. Luego, se recopilaron los datos necesarios para desarrollar el proyecto y se diseñaron los sistemas de iluminación fotovoltaica utilizando el software DIALux EVO. Posteriormente, se evalúa el sistema de control de iluminación basado en los diseños propuestos. Finalmente se logró realizar el presupuesto de inversión para la implementación del sistema de iluminación diseñado para el campus universitario. Mediante este estudio se evidenció la falta de iluminación nocturna en algunas áreas comunes, siendo esta una problemática que afecta la seguridad y bienestar, a esto se suma que los niveles de iluminación que actualmente se tienen disponibles no cumplen los estándares del RETILAP. De esta manera se destaca la importancia de mejorar la iluminación para garantizar la seguridad y cumplir con las regulaciones, con el diseño del sistema de iluminación propuesto, además de plantear un presupuesto para luminarias y para un mantenimiento preventivo.

Abstract

Title: Design of photovoltaic lighting systems in unlit exterior common areas of the Universidad Industrial de Santander main headquarters.

Author: Andrés Felipe Jaimes Puentes, Yorman David Guerrero Jiménez, Andrés Guillermo Torres Herrera.

Keywords: photovoltaic lighting, RETILAP, control systems, dimmable, illuminance, uniformity.

Description: Colombia is experiencing a change in its energy matrix with solar and wind projects, therefore it is important to take advantage of this type of technology, for which the general objective of this research is to design photovoltaic lighting systems for the outdoor common areas of the main headquarters of the University. Industrial de Santander, in order to provide security and well-being to the community. To achieve this, the applied research methodology was used, for which areas without lighting or with obsolete systems were first identified. Then, the necessary data to develop the project was collected and the photovoltaic lighting systems were designed using the DIALux EVO software. Subsequently, the lighting control system is evaluated based on the proposed designs. Finally, the investment budget was achieved for the implementation of the lighting system designed for the university campus. Through this study, the lack of night lighting in some common areas was evident, this being a problem that affects safety and well-being. Added to this is that the lighting levels currently available do not meet the RETILAP standards. In this way, the importance of improving lighting to guarantee safety and comply with regulations is highlighted, with the design of the proposed lighting system, in addition to proposing a budget for luminaires and preventive maintenance.

Introducción

En el siglo XXI estamos siendo testigos de un salto histórico en la matriz energética colombiana, cerca de 285 proyectos de energía solar se encuentran vigentes, junto con 28 proyectos de tipo eólico, un rumbo de transición energética realmente viable e incluyente, debido a que se está ejecutando generación no convencional a gran escala en pro y bienestar de las zonas más apartadas y con menor disponibilidad de energía (UPME, 2023). Ahora bien, teniendo en cuenta las características geográficas de nuestro país, las soluciones son múltiples también para pequeña escala, ya que el apoyo de nuevas tecnologías ha permitido el acceso mínimo a la iluminación pública. Por medio de luminarias led y paneles solares en los postes, las distintas ciudades han integrado soluciones rápidas que proporcionan hasta cuatro veces más intensidad luminosa que una lámpara fluorescente tradicional, con una vida útil que supera las 50 mil horas en luminarias, garantizando el encendido durante toda la noche, los 365 días del año, aún en condiciones extremas de tiempo nublado. Además, la reducción en los gastos periódicos de mantenimiento y sustitución de bombillos es un factor favorable para cualquier sistema de iluminación que fácilmente puede llegar a cualquier población con acceso a la energía solar ahorrando costos de infraestructura y en la misma prestación del servicio como tal. Un espacio iluminado es un espacio con vida propia (Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética en Centroamérica, 2018).

En este sentido, la importancia de este trabajo de investigación radica en subsanar la deficiencia en la cobertura del sistema de iluminación al interior de la Universidad Industrial de Santander sede principal, ya que ha desencadenado en las horas de la noche una serie de problemas que impactan negativamente a la comunidad en general. Según un sondeo de opinión realizado, las zonas comunes exteriores de mayor afluencia, como las zonas aledañas a bienestar estudiantil, el gimnasio al aire libre, las mesas de ping-pong y el Skate Park, presentan bajos niveles de

iluminación. Estos espacios han adquirido una percepción de inseguridad y se consideran inadecuados para su uso o tránsito. Ya que la baja visibilidad dificulta el aprovechamiento de estos espacios y facilita que los delincuentes pasen desapercibidos, aun cuando se cuenta con seguridad privada contratada se mantiene un historial de hurtos dentro de las instalaciones.

Ante esta situación, la Escuela de Ingeniería Eléctrica busca brindar una solución mediante el presente trabajo de investigación “Diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica en zonas comunes exteriores no iluminadas de la Universidad Industrial de Santander sede principal”, con el fin de contribuir a la mejora de los espacios de la universidad permitiendo el disfrute de entornos agradables y acondicionados, pensados en brindar seguridad y bienestar.

Al finalizar este proyecto, se contará con el diseño de sistemas de iluminación fotovoltaicas en zonas que actualmente se encuentran sin iluminación o con iluminación obsoleta. Lo cual constituirá un paso esencial para viabilizar su futura implementación. Los resultados de este proyecto no solo mejorarán la seguridad, sino que también contribuirán al ahorro energético y al medio ambiente, impactos directos e indirectos repercutirán positivamente en la calidad de vida de los visitantes, estudiantes, docentes y personal de la universidad.

1. Generalidades

1.1 Descripción general

Este trabajo de grado se enfoca en el diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica para las zonas comunes exteriores de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander, con el objetivo principal de mejorar la seguridad y el bienestar de la comunidad universitaria. Para lograr este objetivo, se llevarán a cabo una serie de pasos específicos, que incluyen la identificación de áreas sin iluminación adecuada o con sistemas obsoletos, la recopilación de datos detallados, el diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica adaptados a cada área, la evaluación de sistemas de control de iluminación eficientes y la estimación del presupuesto necesario para la implementación de los diseños propuestos. En conjunto, este proyecto busca no solo mejorar la calidad de vida en el campus universitario, sino también promover la sostenibilidad a través de la utilización de energía solar para la iluminación.

1.2 Objetivo general

Realizar el diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica para zonas comunes exteriores que brinden seguridad y bienestar a la comunidad en general al interior de la Universidad Industrial de Santander sede principal.

1.2.1 Objetivos específicos

- Identificar las zonas comunes exteriores al interior de la Universidad Industrial de Santander sede principal que carecen de un sistema de iluminación o que el mismo se encuentre obsoleto.

- Realizar el levantamiento de datos que permitan el desarrollo de sistemas de iluminación fotovoltaica dentro del campus universitario.
- Diseñar sistemas de iluminación fotovoltaica en las zonas identificadas, considerando las restricciones y limitaciones en cada área en estudio.
- Evaluar un sistema de control de iluminación considerando los diseños propuestos.
- Realizar el presupuesto de inversión para la implementación del sistema de iluminación diseñado.

2. Marco referencial

2.1 Definiciones

En este apartado se contemplan las definiciones del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP del Ministerio de Minas y Energía. (2010), aspectos relacionados con la aplicabilidad del diseño propuesto en este proyecto.

Densidad de flujo luminoso: Cociente del flujo luminoso por el área de la superficie cuando ésta última está iluminada de manera uniforme.

Deslumbramiento: Sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad. Existe deslumbramiento cegador, directo, indirecto, incómodo e incapacitivo.

Diagrama polar: Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en planos definidos. Generalmente se representan los planos $C = 0^\circ - 180^\circ$, $C = 90^\circ - 270^\circ$ y plano de intensidad máxima

Eficacia luminosa de una fuente: Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (bombilla) y la potencia de esta. La eficacia de una fuente se expresa en lúmenes/vatio (lm/W).

Factor de uniformidad de iluminancia: Medida de la variación de la iluminancia sobre un plano dado, expresada mediante alguno de los siguientes valores

- a) Relación entre la iluminancia mínima y la máxima.
- b) Relación entre la iluminancia mínima y la promedio

Factor de uniformidad general de la luminancia (U_0): Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio sobre la superficie de una calzada

Flujo luminoso (Φ): Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el lúmen (lm).

Fotometría: Medición de cantidades asociadas con la luz. La fotometría puede ser visual cuando se usa el ojo para hacer una comparación, o física, cuando las mediciones se hacen mediante receptores físicos.

Iluminancia (E): Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lx)

Índice de reproducción cromática (IRC): Las propiedades de una fuente de luz, a los efectos de la reproducción de los colores, se valorizan mediante el “Índice de Reproducción Cromática” (IRC) ó CRI (“Color Rendering Index”). Este factor se determina comparando el aspecto cromático que presentan los objetos iluminados por una fuente dada con el que presentan iluminados por una “luz de referencia”. Los espectros de las bombillas incandescentes ó de la luz del día contienen todas las radiaciones del espectro visible y se los considera óptimos en cuanto a la reproducción cromática; se dice que tienen un IRC= 100.

Lúmen (lm): Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.

Luminancia (L): En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la

superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada.

Luminaria: Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.

Lux (lx): Unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI). Un lux es igual a un lúmen por metro cuadrado ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$)

Mantenimiento: <Del flujo luminoso> Efecto de mantener o mantenerse, cuidar su permanencia. <Correctivo, preventivo> Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones puedan seguir funcionando adecuadamente.

Potencia nominal de una fuente luminosa: Potencia requerida por la fuente luminosa, según indicación del fabricante, para producir el flujo luminoso nominal. Se expresa en vatios (W)

Radiación: Emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas

Reflector: Dispositivo usado para redirigir el flujo luminoso de una fuente mediante el proceso de reflexión.

Reflexión: Término general para el proceso mediante el cual el flujo incidente deja una superficie o medio desde el lado incidente sin cambios en la frecuencia.

Vida útil (de una fuente luminosa): Período de servicio efectivo de una fuente que trabaja bajo condiciones y ciclos de trabajo nominales hasta que su flujo luminoso sea el 70 % del flujo luminoso total.

Visibilidad: Cualidad o estado de ser perceptible por el ojo. En muchas aplicaciones en exteriores, la visibilidad se define en términos de distancia a la cual un objeto puede ser percibido escasamente por el ojo. En aplicaciones en interiores, usualmente se define en términos de contraste o del tamaño de un objeto estándar de prueba, observado en condiciones normalizadas de visión, con el mismo umbral que el objeto dado.

2.2 Antecedentes investigativos

Hacen parte de los estudios internacionales la realizada por Malpartida y Fuentes (2022), quienes se enfocaron en evidenciar la viabilidad de reemplazar los sistemas de iluminación decorativa existentes en plazas y parques del puerto de ILO, ubicado en Pacocha, Perú. La propuesta es que la energía eléctrica funcione con sistemas de iluminación fotovoltaica con radiación solar, para asegurar que el funcionamiento sea constante durante todo el año, convirtiéndose en un ahorro significativo para el municipio. La prueba piloto del diseño se realizó en el parque minero del distrito de Pacocha, con la instalación de 20 luminarias solares fotovoltaicas de 120W, equipadas con paneles monocristalinos de 130W, baterías de litio de 86AH, luminarias LED de 120W que operaban durante doce horas al día con una autonomía de tres días y con un sistema de control de funcionamiento automático. Los resultados obtenidos fueron positivos y mostraron la factibilidad de utilizar este tipo de luminarias fotovoltaicas en plazas y parques del puerto de ILO, incluso en condiciones climáticas adversas como días de lluvia o cortes de energía eléctrica proporcionada por la compañía concesionaria Electrosur.

Mediante el estudio se evidenció que este tipo de sistemas de iluminación fotovoltaica ofrece una gama de beneficios socioeconómicos, que incluyen la reducción de los gastos públicos relacionados con el consumo de energía eléctrica, mejoras en la seguridad al reducir los riesgos de

asaltos en áreas mal iluminadas y al igual de generar un impacto ambiental positivo en relación a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo de esta manera al desarrollo armonioso y sostenible de la Provincia de ILO (Malpartida y Fuentes, 2022).

Adicionalmente, se destaca la importancia de seleccionar cuidadosamente las luminarias solares que mejor se adapten a las necesidades específicas, ya que la elección incorrecta puede llevar a la insatisfacción de los resultados. El proyecto tiene una alta viabilidad, en el sentido que la inversión es de S/. 50,000 para adquirir 20 luminarias solares integradas que tendrán un tiempo de recuperación de 4,3 años. También se plantea la posibilidad de implementar sistemas solares fotovoltaicos para viviendas en la provincia de Ilo, lo que sería una inversión a largo plazo recuperable. En las conclusiones, se confirma la factibilidad de reemplazar la iluminación ornamental convencional por sistemas fotovoltaicos, lo que mejora la consistencia de la iluminación pública y la seguridad en áreas públicas sin iluminación. Finalmente, se enfatiza que la transición conlleva un ahorro significativo en el gasto público municipal y promueve el uso sostenible de la energía fotovoltaica en el Puerto de Ilo (Malpartida y Fuentes, 2022).

Otra investigación del contexto internacional es la realizada por Pérez (2019) que tiene como objetivo principal “Diseñar un sistema de iluminación fotovoltaico mediante tecnología LED para el Parque Central de la provincia de Jaén – Cajamarca”. La metodología utilizada se basó en la aplicación práctica y se caracterizó por su enfoque descriptivo. Este enfoque de investigación se implementó en el campo, sin llevar a cabo experimentos. Además, se incluyeron diversas etapas en el estudio, como la evaluación y descripción detallada del recurso solar, el cálculo del tamaño necesario, la estimación de los niveles de iluminación y el diseño del sistema fotovoltaico. Se consideraron aspectos de protección eléctrica y se realizaron cálculos lumínicos para determinar

la cantidad de luz necesaria. Además, se examinaron las especificaciones técnicas de los equipos utilizados y se determinó la altura adecuada para la instalación

La investigación de Pérez (2019) propone una alternativa que permite desarrollar un diseño para la iluminación del alumbrado público mediante la tecnología LED, donde se busca abastecer de energía mediante paneles fotovoltaicos. Esta elección de iluminación LED tiene como objetivo reducir el impacto ambiental, disminuyendo las emisiones de gases contaminantes asociadas al alumbrado público convencional. Se desarrolló en el proyecto un análisis teórico del aprovechamiento de energías renovables, dicha revisión bibliográfica permitió identificar las características, usos y ventajas de la iluminación LED en comparación con las luminarias tradicionales.

Adicionalmente, también se logró analizar la evolución del sistema fotovoltaica y las características del recurso solar en el lugar, considerando diferentes ángulos de inclinación. Estos datos se obtuvieron de la aplicación de la NASA, y para obtener resultados óptimos, se decidió trabajar con una radiación solar mínima de 3,71 kWh/m². Para determinar y calcular los niveles de iluminación en el parque central de la Provincia de Jaén, se ha seleccionado una luminaria de 67 W con una tensión de 12 V. Además, se ha diseñado y dimensionado cada componente del sistema fotovoltaico autónomo, que incluye un panel de 130 Wp. El proyecto culminó con un análisis técnico-económico que muestra una inversión inicial de S/.43 025,13 y un período de retorno de inversión de siete años y cuatro meses, considerando una tasa de inversión del 10%. Se prevé que el proyecto tenga una vida útil de 20 años (Pérez, 2019).

De otra parte, Chamorro (2022) desarrolla un estudio con el objetivo de elaborar una propuesta técnica y económica de iluminación fotovoltaica para una multicancha con iluminación tradicional ubicada en Chiguayante, ubicada en Chile. Para desarrollar la investigación se realizó

un diagnóstico de las características del entorno y el tipo de iluminación en la multicancha, para lo que se contempló la visualización de los focos en horas de funcionalidad en el día y en la noche, asimismo, se realizó un análisis de lúmenes y potencia necesaria. Adicionalmente, se generaron los datos de irradiación mensual y anual utilizando el explorador solar de la NASA denominado “POWER | Data Access Viewer”.

Posteriormente se realizaron los cálculos del sistema fotovoltaico de cada método (OFF Grid y ON Grid), esto con el fin de establecer el método del sistema de iluminación de paneles fotovoltaicos a partir de las necesidades. Finalmente, se evaluó económicamente la propuesta, considerando en el estudio de costos de los materiales, los fletes, las herramientas, arriendos y la mano de obra, dando como resultado una inversión de \$ 4.386.843 en moneda chilena. Esto indica que el proyecto es viable económicamente, arrojando una TIR a los 13 años. El estudio menciona la importancia de promover proyectos de iluminación con fuentes de energía renovable (Chamorro, 2022).

En otro sentido, dentro de los estudios nacionales se encuentra el realizado por Ariza y Gelves (2022) cuyo objetivo fue 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. En el proyecto se identificaron problemas en la iluminación de la fachada y áreas exteriores del edificio E3T. La baja luminosidad se debió a la falta de postes de alumbrado y a un diseño lumínico anticuado que no cumplía con las normas actuales. Después de investigar y usar software de simulación, se determinó que era posible resolver estos problemas y utilizar la energía solar fotovoltaica como fuente de energía. Se desarrollaron dos propuestas de diseño para la iluminación de la fachada y exteriores del edificio E3T, considerando aspectos técnicos, temporales y de costos. Se evaluaron estas alternativas y se

comprobó que cumplían con los estándares mínimos de iluminación requeridos por la normativa, utilizando el software DIALux.

El proyecto de Ariza y Gelves (2022) se centró en utilizar exclusivamente energía solar fotovoltaica como fuente de alimentación, promoviendo así el uso de recursos naturales para combatir los desafíos climáticos globales. Se eligió el diseño final basado principalmente en los costos, ya que las dos opciones cumplían con los requisitos de iluminación. Además, se decidió utilizar el área de estacionamiento de bicicletas como la base para el sistema solar fotovoltaico, lo que optimizó el espacio y proporcionó sombra adicional para las bicicletas. Mediante la investigación se buscó promover el uso de fuentes de energía renovable para mejorar la iluminación de espacios en la universidad, además de garantizar la seguridad y comodidad de las personas que transitan. Se trabajó en el sistema solar FV con las regulaciones vigentes, como son el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (REILAP) y la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050).

Por otro lado, Jiménez (2018) realiza un diseño de un sistema de iluminación eléctrico para las terrazas verdes del Edificio de Ingeniería Eléctrica, que permita mejorar las condiciones de tránsito y trabajo de las personas. El proyecto comenzó con la recopilación de datos físicos sobre la zona y una minuciosa evaluación de la instalación eléctrica ya existente. Esto se hizo para determinar cómo y dónde conectar el nuevo sistema de iluminación a la red existente, así como para establecer los requisitos específicos de iluminación para el lugar. Luego, se propusieron dos alternativas de diseño para el sistema de iluminación, considerando las diferentes zonas en las terrazas. El diseño se llevó a cabo utilizando el software DIALux Evo, y los resultados fueron presentados, a través de un análisis comparativo, escogiendo una de las propuestas.

En la sección final del informe, se detallan las especificaciones técnicas de los productos necesarios y la cantidad mínima de recursos requeridos para construir cada componente del proyecto. Por último, se presenta el presupuesto total necesario para llevar a cabo el proyecto, compuesto de las tres unidades generales y los APU's de cada unidad (Jiménez, 2018).

Se utilizó la Norma UNE-EN 12464-2 como un marco normativo y técnico de referencia, ya que proporciona de manera exhaustiva las pautas y especificaciones necesarias para la planificación de la iluminación en diversas áreas de trabajo al aire libre. Esto permitió establecer requisitos de iluminación coherentes con las necesidades visuales específicas de las terrazas verdes. Por otro lado, se observó que el RETILAP carece de detalles técnicos adecuados para áreas de trabajo en exteriores, por lo que solo se aplicó en ciertos casos (Jiménez, 2018).

La sugerencia de colocar enchufes eléctricos debajo de cada bloque de paneles ofrece la ventaja de posibilitar la conexión y desconexión de reflectores, además de permitir la conexión de dispositivos utilizados en inspecciones, pruebas o tareas de mantenimiento relacionadas con los componentes de los bloques de paneles fotovoltaicos. El cálculo de la instalación eléctrica se realizó con base en la configuración de luminarias de la propuesta 2 recomendada como se observa en la siguiente tabla. Se identifica el circuito del ramal, las zonas, las luminarias, la carga parcial y total para cada zona de la carga instalada en las terrazas del quinto y sexto piso (Jiménez, 2018).

Tabla 1.

Carga instalada en terrazas del quinto y sexto piso

<i>Cto ramal</i>	<i>Zona</i>	<i>Luminarias</i>			<i>Carga Parcial [VA]</i>	<i>Carga Total [VA]</i>
		<i>Cantidad</i>	<i>Potencia</i>	<i>Fp</i>		
1	Áreas de Trabajo	2	30	0,9	66,67	66,7
2	Áreas de Transito	19	10	0,9	211,11	317,8
	Áreas verdes	2	48	0,9	106,67	

<i>Cto ramal</i>	<i>Zona</i>	<i>Luminarias</i>			<i>Carga Parcial [VA]</i>	<i>Carga Total [VA]</i>
		<i>Cantidad</i>	<i>Potencia</i>	<i>Fp</i>		
3	Áreas de Trabajo	6	50	0,9	333,33	333,3
4	Áreas de Transito	53	10	0,9	588,89	802,2
	Áreas verdes	4	48	0,9	213,33	

Nota: Tomado del documento titulado “Diseño de un sistema de iluminación eléctrico para las terrazas verdes del edificio de Ingeniería Eléctrica” de Jiménez (2018, p. 101).

En otro estudio, realizado por Rubio (2023) se diseña un sistema de iluminación para alumbrado público con sistema solar fotovoltaico aislado a la red para el parque principal de Mosquera (Cundinamarca). En el diseño de iluminación ejecutado se utilizaron las luminarias existentes para maximizar los recursos, aunque se priorizó la necesidad de garantizar niveles adecuados de iluminación. El alumbrado público carecía de comodidad y seguridad visual, con zonas de iluminación insuficiente y excesiva, denominado "efecto cebra". Por consiguiente, el diseño propuesto mantuvo niveles de iluminación consistentes y evitó el efecto cebra mediante la reubicación de luminarias.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se empleó el software PVSOL en lugar de cálculos manuales, ya que considera factores importantes, como la variación en la radiación solar a lo largo del año. Las sombras de los árboles tuvieron un impacto en el cálculo del tamaño necesario del sistema fotovoltaico, considerando la presencia de estas sombras y asumiendo que el tamaño de las copas de los árboles se mantendría constante. Se resaltó que no era viable instalar un sistema de iluminación fotovoltaica debido a la sombra continua generada por los árboles.

El rendimiento del sistema fotovoltaico se evaluó en un 78%, lo cual se consideró satisfactorio. En cuanto a los aspectos económicos, se empleó una tasa de inflación constante del 9%, aunque se reconoció que esto podría no reflejar la situación real. La estimación del costo de inversión se realizó de manera básica, y se subrayó la necesidad de llevar a cabo una ingeniería de

detalle para una estimación más precisa. Además, la estimación de los flujos de fondos se basó en suposiciones y no en datos concretos de la recaudación de impuestos de alumbrado público (Rubio, 2023).

2.3 Marco teórico

2.3.1 Sistemas de iluminación

Un sistema de iluminación se compone de varios elementos (lámparas, luminarios, balastos, dispositivos de control) que están diseñados para garantizar una mayor visibilidad de espacios, de tal manera que se pueda cubrir los requisitos de un entorno específico de acuerdo a las actividades a realizar. Por consiguiente, se necesita elegir cuidadosamente las luminarias y lámparas más apropiadas que proporcionen la cantidad adecuada de luz, asimismo debe contemplarse minimizar los efectos de brillo no deseados (directo y reflejado). En todos los casos, se busca optimizar el consumo de energía y al igual que es importante buscar la reducción de los costos operativos (Cedeño, 2014).

En relación a las magnitudes de la luz se debe contemplar el flujo luminoso, la intensidad luminosa, la eficacia como efecto luminoso, el rendimiento de color (Ra), la iluminancia, la luminancia, la temperatura del color y la vida útil de la tecnología LED. Adicionalmente, es necesario que se tenga en cuenta la distribución luminosa-curva fotométrica aspecto particular de la luminotecnia (Chuquizuta. 2020).

2.3.2 Tecnologías de sistemas de iluminación

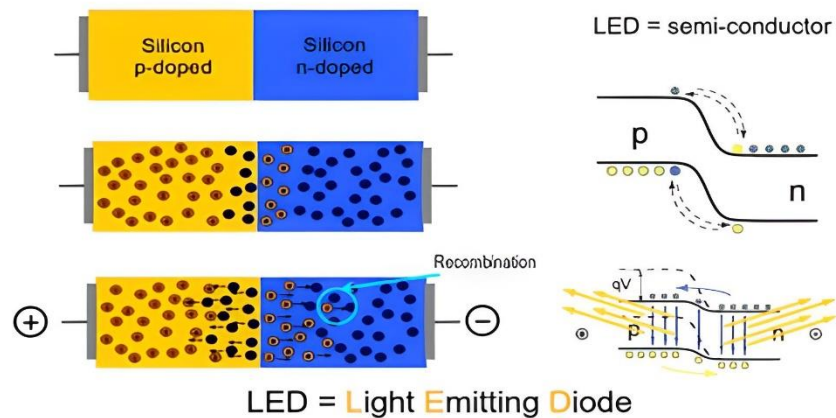
Dentro de las tecnologías de sistemas de iluminación exterior se encuentran las bombillas de vapor de mercurio, de vapor de mercurio a baja presión y de alta presión, halogenuro metálico,

vapor de sodio (de baja presión, de alta presión) y la luminaria LED de alumbrado exterior (Chuquizuta. 2020).

La luminaria tipo LED (diodo emisor de luz) por sus siglas en inglés (light-emitting diode). La tecnología LED es una fuente luminosa compuesta por un material semiconductor con dos terminales. Este dispositivo es esencialmente un diodo de unión p-n que emite luz cuando se encuentra activado. Cuando se aplica una tensión apropiada a los terminales, los electrones se combinan con los huecos en la región de la unión p-n, liberando energía en forma de fotones. Este fenómeno se llama electroluminiscencia, y el color de la luz producida, que está relacionado con la energía de los fotones emitidos, depende de la anchura de la banda prohibida del semiconductor. En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento de la emisión de luz LED.

Figura 1.

LED – Principio de emisión de luz



Nota: Tomado de Alfaro (2018, p. 12)

Los LEDs, suelen presentar dimensiones reducidas, generalmente inferiores a 1 mm², y frecuentemente se emplean componentes ópticos adicionales para configurar su patrón de emisión de luz. En la actualidad, los LEDs ofrecen múltiples ventajas en comparación con las fuentes de iluminación convencionales, como las bombillas incandescentes o fluorescentes. Unas de las

mayores ventajas es un bajo consumo energético, una vida útil más extensa, una mayor durabilidad física, dimensiones más compactas y la capacidad de generar luz en diversos colores del espectro visible de manera precisa y controlada. Incluso en el caso de los LEDs multicolores, tienen la capacidad de cambiar de color de manera rápida (Sylvania, 2021).

De otra parte, Montalvo (2016) señala que la iluminación LED tienen la capacidad de generar una luz intensa que se difunde ampliamente en una gama variada de frecuencias, lo que se convierte en una opción destacada en los sistemas de iluminación modernos. Para lograr efectos de iluminación más eficaces, es esencial evaluar cómo la luz se distribuye en varios lugares y calcular propiedades desconocidas (amplitudes, desplazamientos de frecuencia, señales de modulación), de tal forma que la tarea se simplificada para diseñar las formas de onda que controlan la tecnología LED.

Para alcanzar los niveles de iluminación necesarios, se debe regular tanto la amplitud de la transmisión como el ciclo de trabajo. Normalmente, se mantiene constante la amplitud del flujo luminoso en la práctica. Por consiguiente, el controlador debe elegir el ciclo de trabajo adecuado para cada LED con el fin de lograr el efecto de iluminación deseado, lo que a su vez conduce a una mayor eficiencia en la ejecución del trabajo (Montalvo, 2016).

De acuerdo con Chamba (2015) existe un sistema de localización que efectúa mediciones en diversos puntos de destino, donde el controlador de la luminaria identifica las fluctuaciones en el voltaje del módulo fotovoltaico a lo largo del día. Estos datos de medición se ingresan nuevamente en el controlador, que realiza cálculos para determinar los niveles de iluminación y adapta los ciclos de trabajo de cara a las futuras formas de onda, con el propósito de lograr los flujos luminosos esperados (Citado por Montalvo, 2016).

Conforme lo menciona Chuquizuta (2020), dentro de los componentes de la iluminación LED se encuentran: el alumbrado LED, el tipo de LED, el driver de alimentación, la placa base, la gestión térmica y la óptica.

2.3.3 Iluminación en zonas comunes

La iluminación de espacios exteriores, se aplican los principios fundamentales de iluminación de áreas internas, es decir que se busca que se tenga un nivel de iluminación horizontal específico según las necesidades de las actividades que se lleven a cabo en dicho lugar. Además, es posible, que pueda ser ampliado, con el fin de incluir aspectos de iluminación vertical u otras medidas de luminancia, la forma en que las medidas se deben distribuir en el espacio, y la capacidad de representar los colores de manera precisa, entre otros (Sandoval, 2006).

Los requisitos de iluminación para espacios exteriores, como áreas residenciales, comerciales, de estacionamiento y zonas de circulación restringida, deben considerar las necesidades específicas de los peatones, quienes son los usuarios prioritarios en estos entornos. Esto se debe a que los peatones tienen tareas visuales y requisitos de iluminación diferentes en comparación con los conductores de vehículos (Sandoval, 2006).

En este sentido, la iluminación de espacios exteriores donde la actividad peatonal es prioritaria requiere un enfoque específico y diferenciado. Una buena iluminación en espacios exteriores puede mejorar la apariencia general de la zona, disuadir actos vandálicos y delitos, contribuir a la detección de delitos y aumentar la sensación de seguridad. La instalación de iluminación en estos espacios debe considerar tanto el rendimiento visual de los usuarios como su comodidad y preferencias. Esto implica proporcionar condiciones adecuadas para que los peatones puedan detectar obstáculos, identificar a otras personas y orientarse correctamente. Además, se

debe crear una sensación de comodidad y agrado, evitando deslumbramientos excesivos, garantizando un modelado adecuado, adaptando las características cromáticas y minimizando las molestias causadas por la iluminación (Sandoval, 2006).

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) clasifica la iluminación de vías de tránsito peatonal, compuesta por siete categorías, desde P1 hasta P7. La elección de la clase depende de la importancia del área, las necesidades del tránsito peatonal y la preservación del entorno. Se sugiere utilizar las clases P5, P6 y P7 en lugares con bajo riesgo de criminalidad. En casos de alto riesgo, se recomienda elegir una clase uno o dos niveles por encima de la correspondiente para prevenir actos delictivos. Estas recomendaciones también se aplican a las vías utilizadas por peatones, ciclistas y otros vehículos no motorizados. En la siguiente tabla se muestran los requisitos mínimos que se requieren para la iluminación de tráfico peatonal y ciclistas, de acuerdo a lo establecido por RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Tabla 2.

Clases de iluminación para calles en áreas peatonales y ciclistas

<i>Descripción de la vía de circulación</i>	<i>Clase de iluminación</i>	<i>Iluminancia Horizontal (luxes)</i>	
		<i>Valor promedio</i>	<i>Valor mínimo</i>
Vías de muy elevado prestigio urbano	P1	20,0	7,5
Utilización nocturna intensa por peatones y ciclistas	P2	10,0	3,0
Utilización nocturna moderada por peatones y ciclistas	P3	7,5	1,5
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes	P4	5,0	1,0
Utilización nocturna baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente.	P5	3,0	0,6
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas, únicamente asociada a las propiedades adyacentes. Importante preservar el carácter arquitectónico del ambiente	P6	1,5	0,2
Vías en donde únicamente se requiere una guía visual suministrada por la luz directa de las luminarias	P7	No aplica	No aplica

Nota: Adoptado de las tablas 510.1.2 y 510.2.2 del Anexo General. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP del Ministerio de Minas y Energía (2010).

Dentro de las consideraciones técnicas para el diseño de alumbrado público, RETILAP establece las clases de iluminación según las características de las vías vehiculares y las de tráfico peatonal y ciclistas. Al igual que el reglamento define las clases de iluminación según el uso y tipo de vía y áreas críticas. Se debe contemplar en el diseño los niveles exigidos de luminancia y de iluminancia del alumbrado público, las guías de visibilidad en vías de velocidades elevadas y la localización de luminarias (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

Adicionalmente, se deben considerar para la iluminación de exteriores aspectos con relación a los diferentes tipos de usuarios, la complejidad de circulación, la tipología de las vías, el movimiento, control y separación de tráfico. Estos criterios se establecen en la sección 510 del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

El Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP del Ministerio de Minas y Energía (2010) establece las clases de iluminación según las características de las vías vehiculares. Por consiguiente, para el caso del diseño propuesto se tuvieron en cuenta los valores que muestra las tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3.

Clases de iluminación para vías vehiculares

Clase de iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (Kw/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	V > 80	Muy importante	T > 1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta	60 > V < 80	Importante	500 > T < 1000
M3	Vías principales y ejes viales	Media	30 > V < 60	Media	250 > T < 500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V < 30	Reducida	100 > T < 250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T < 100

Nota: clases de iluminación para vías vehiculares de la tabla 510.1.1 a. Tomada del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público Norma (RETILAP) del Ministerio de Minas y Energía (2010).

La tabla 4 muestra los valores de iluminancia promedio medida en luxes.

Tabla 4.

Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio (lx) en vías motorizadas

Clase de iluminación	Valor promedio (mínimo mantenido) de iluminancia según tipo de superficie de la vía Luxes [Luxes]			Uniformidad de la iluminancia E_{min} / E_{prom} (%)
	R1	R2 y R3	R4	
M3	12	17	15	0,34
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Nota: Valores mínimos bajo el criterio de iluminancia

En la siguiente tabla se identifican las características de cuatro tipos de calzadas de superficie con valores normalizados, contemplados en el diseño del sistema de iluminación en las áreas de estudio.

Tabla 5.

Clasificación de superficies según el factor S1

Clase	Variación S_1	S_1	S_2	Q_0	Reflexión
R1	$S_1 < 0,42$	0,25	1,53	0,10	Casi difusa
R2	$0,42 \leq S_1 < 0,85$	0,58	1,8	0,07	Difuso especular
R3	$0,85 \leq S_1 < 1,35$	1,11	2,38	0,07	Ligeramente especular
R4	$21 \geq 1,35$	1,55	3,03	0,08	Especular

Nota: La clasificación de superficies se contemplan los datos de la tabla 535.2 a. Tomada del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público Norma (RETILAP) del Ministerio de Minas y Energía (2010).

Para el caso particular de este proyecto se aplicaron los valores fotométricos de las tablas 510.3 b del reglamento RETILAP que se muestra en la tabla 6, dichos valores corresponden a los niveles de luminancia y de iluminancia para sistemas de alumbrado público. Sin embargo, para el diseño se tuvieron en cuenta la clasificación C0 y C1, por tratarse de canchas múltiples recreativas y piezas y plazoletas.

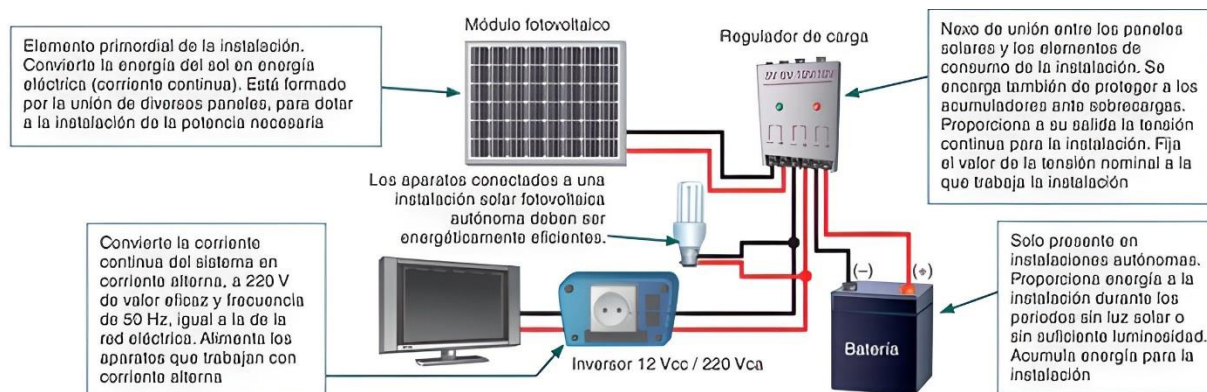
Tabla 6.*Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías vehiculares*

<i>Clasificación</i>	<i>Clase de iluminación</i>	<i>Iluminancia promedio (luxes)</i>	<i>Uniformidad general $U_0 \geq \%$</i>
Canchas múltiples recreativas	C0	50	40
Piezas y plazoletas	C1	30	33
Pasos peatonales subterráneos	C1	30	33
Puentes peatonales	C2	20	33
Zonas peatonales bajas y alledaños 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

Nota: Tomado del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP del Ministerio de Minas y Energía (2010, p. 124).

2.3.4 Sistema fotovoltaico

La Energía Solar Fotovoltaica es una tecnología que produce electricidad en forma de corriente continua al exponer semiconductores a la radiación de fotones. Cuando la luz solar incide sobre una célula solar, que es el componente básico de esta tecnología, se genera energía eléctrica, y cuando la luz desaparece, la electricidad cesa. Es importante destacar que estas células solares no requieren cargarse como las baterías, y algunas de ellas han estado en funcionamiento continuo en aplicaciones terrestres y espaciales durante más de tres décadas (Díaz y Carmona, 2018).

Figura 2.*Elementos de un sistema solar fotovoltaico*

Nota: Tomado del Capítulo 1. Componentes de una instalación solar fotovoltaica de Díaz y Carmona (2018, p. 6).

Los sistemas fotovoltaicos, conocidos como FV o PV por sus siglas en inglés, son sistemas que convierten directamente la luz solar en electricidad. Estos sistemas son una fuente de energía limpia y confiable que no depende de combustibles fósiles y pueden utilizarse en una amplia gama de aplicaciones. Por ejemplo, en aplicaciones de pequeña escala, los sistemas FV pueden suministrar energía para dispositivos como relojes y radios. En una escala más grande, muchas compañías de servicios públicos han implementado recientemente grandes conjuntos de paneles solares para generar electricidad a partir de la energía solar y respaldar sistemas críticos (Solar Energy International, 2015).

2.3.5 Irradiancia solar

De acuerdo a Rodríguez et al. (2010) la ciudad de Bucaramanga cuenta con un recurso solar que se muestra propicio para llevar a cabo proyectos de generación fotovoltaica, como se detalla en la siguiente tabla, donde se presenta la estimación de la energía promedio anual en

diferentes estaciones. En particular, en la estación E1, se registra una producción anual de energía que supera los 1.700 kWh/m². Por otro lado, en las estaciones E2 supera los 1.600 kWh/m² y en la E3, la energía generada alcanza a superar los 1.700 kWh/m². Esta evaluación indica que el recurso estimado corresponde al 77,6% del registrado en la Guajira, según lo reportado en el Atlas de la Radiación Solar de Colombia (2.190 kWh/m²) por (UPME-IDEAM en 2005), que es conocida por ser una zona con los mejores registros de radiación solar en el país. Al comparar estos resultados con otras regiones, se puede observar que Bucaramanga tiene aproximadamente el 91,3% de la producción anual de energía en relación con la media de la Costa Atlántica (1.825 kWh/m²) y el 103,4% de la media de la Zona Andina (1.643 kWh/m²) (Citado por Vergara et al., 2014).

Tabla 7.

Energía promedio anual

<i>Estación</i>	<i>Año</i>	<i>Energía anual promedio [Kwh/m²]</i>
E1 (Centro)	2009	1.772,20
	2010	1.734,00
	2011	2.016,70
E2 (Real de Minas)	2011	1.646,20
	2012	1.715,10
E3 (Norte)	2010	1.553,50
	2011	1.673,70
	2012	1.698,50
E4 (Campus Central UIS)	2010	1.186,60

Nota: Tomado de la evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga de Vergara et al. (2014, p. 55).

En la tabla 8 se presenta una compilación de los niveles de radiación promedio, máxima y mínima registrados en Bucaramanga a lo largo de los años. Se ha observado que más del 87,2% de los días anuales cumplen con el criterio previamente establecido como indicativo de un

potencial solar adecuado para la ejecución de proyectos de energía fotovoltaica (es decir, ≥ 3 HSP “Hora Solar Pico”). La radiación diaria promedio para la ciudad de Bucaramanga se sitúa en torno a los 4,6 kWh/m², lo que refleja la predominancia de días soleados y despejados a lo largo del año (Vergara et al., 2014).

Tabla 8.

Radiación promedio diaria, máxima y mínima

Estación	Año	Radiación promedio [kWh/m ²]	Radiación máxima [kWh/m ²]	Radiación mínima [kWh/m ²]
E1 (Centro)	2009	4,99	7,63	1,63
	2010	5,16	9,43	1,19
	2011	6,07	11,3	1,63
E2 (Real de minas)	2011	4,51	6,74	1,33
	2012	4,68	6,85	1,71
E3 (Norte)	2010	4,31	7,18	0,91
	2011	4,62	7,23	1,28
	2012	4,69	7,15	1,77
E4 (Campus central UIS)	2010	4,60	6,93	1,63

Nota: Tomado de la evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga de Vergara et al. (2014, p. 55).

Ahora bien es primordial tener en cuenta en la planificación de sistemas de generación fotovoltaica, la consideración del seguimiento solar. Este enfoque implica la orientación dinámica de los paneles solares para maximizar su exposición directa al sol, lo que a su vez mejora la eficiencia global del sistema. Sin embargo, como señala Osma (2011) en el contexto de Bucaramanga y su proximidad a la zona ecuatorial, la inversión en la instalación de estos equipos no genera un aumento significativo en la eficiencia global en comparación con el costo asociado (Vergara et al., 2014).

Tabla 9.*Temperatura promedio, máxima y mínima*

Estación	Año	Temperatura promedio [°C]	Temperatura máxima [°C]	Temperatura mínima [°C]
E1 (Centro)	2009	21,08	23,89	17,32
	2010	20,82	24,57	15,19
	2011	20,46	23,10	16,63
E2 (Real de minas)	2011	23,34	26,27	19,16
	2012	23,88	27,03	19,83
E3 (Norte)	2010	24,33	29,08	19,40
	2011	24,29	27,24	19,96
	2012	24,79	28,08	20,54
E4 (Campus central UIS)	2010	22,92	26,46	19,47

Nota: Tomado de la evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga de Vergara et al. (2014, p. 55).

Por último, el factor del impacto adverso que la temperatura ambiente puede tener en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos implica analizar su variabilidad. Como se puede apreciar en la Tabla 9, en la estación E1, durante el año 2011, se registró una temperatura promedio de 20,4 °C, con una temperatura máxima de 23,1 °C y una mínima de 16,6 °C. En contraste, la Estación E4 reportó una temperatura promedio de 22,92 °C, cifra que concuerda con la temperatura observada en la Estación E3, dado que ambas están ubicadas en la misma zona de la ciudad (Vergara et al., 2014).

Además, Osma (2011) señala que las temperaturas más elevadas ocurren en las horas próximas al mediodía, aproximadamente entre las 11 am y las 3 pm, mientras que las temperaturas más bajas se registran al amanecer, alrededor de las 5 am. Con relación a las temperaturas ambiente que prevalecen en las áreas de las estaciones mencionadas, pueden reducir la generación diaria de energía fotovoltaica en aproximadamente un 15%. La disminución más pronunciada, cercana al

20%, se observa en horas cercanas al mediodía, cuando la radiación solar alcanza aproximadamente los 1.000 W/m² (Vergara et al., 2014).

2.3.6 Sistemas de iluminación fotovoltaica

Los sistemas de iluminación fotovoltaica funcionan utilizando paneles solares para convertir la luz solar en electricidad que puede almacenarse en baterías o utilizarse de inmediato para alimentar lámparas LED eficientes. Esto indica que el sistema de iluminación fotovoltaica aprovecha la energía solar para iluminar de manera ecológica y eficiente, brindando un futuro más sostenible. Se considera que su principal ventaja es su versatilidad, en el sentido, que pueden adaptarse a una amplia gama de aplicaciones, que van desde iluminar áreas urbanas hasta proporcionar luz en lugares remotos sin acceso a la red eléctrica convencional (Barberá, 2011).

La eficiencia y durabilidad de las luces LED, combinadas con la fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos, hacen que estos sistemas sean ideales tanto para entornos urbanos como rurales. Además, al operar de manera autónoma, son resistentes a los cortes de energía y pueden funcionar constantemente, día y noche, convirtiéndose en una solución sostenible que reduce costos, disminuye la contaminación y aumenta la resiliencia de las comunidades frente a desafíos energéticos (Barberá, 2011).

2.3.7 Sistemas de control de iluminación

Un sistema de control de iluminación se basa en la automatización y la red inteligente, permitiendo la comunicación entre múltiples sistemas relacionados con la iluminación a través de dispositivos informáticos centrales. Estos sistemas se caracterizan especialmente por reducir el consumo energético y optimizar los recursos financieros. Se pueden implementar tanto en espacios

comerciales, industriales como residenciales, con el objetivo de proporcionar la cantidad adecuada de luz en el momento y lugar precisos (Gandur, 2016).

2.3.7.1 Tipos de sistemas de control de iluminación

Los sistemas de iluminación automatizada, en su forma más básica, necesitan al menos los siguientes elementos: un sensor que detecta el área, un controlador que ajusta las luces según la configuración, los actuadores que activan el circuito de iluminación y, si es necesario, una interfaz. En el caso de los sensores de movimiento, se encienden o apagan automáticamente cuando detectan la presencia de una persona en una ubicación particular (Smartlighting, 2016).

De acuerdo con Ruales (2019). Existen diferentes tipos de control de iluminación, sin embargo, se destacan cuatro métodos: 1. Conmutación suave / Control ON/OFF Tradicional, 2. ON/OFF Conmutación Suave, 3. Dimerización por Fase, y 4. Protocolo de comunicación digital de iluminación DALI. El control ON/OFF Tradicional (Conmutación Suave) es un método que implica activar o desactivar las luces mediante relés o variar el flujo luminoso utilizando un regulador (dimmer) que permite ajustar la intensidad de luz del 0% al 100%. En este enfoque, los contactos tienen una vida útil de 50,000 a 200,000 ciclos, y se produce un arco eléctrico al encender y apagar las luces. El tipo de control ON/OFF (Conmutación Suave) se diferencia del control tradicional, en que la conmutación suave permite una vida útil de contactos de al menos 1 millón de ciclos y no genera arco eléctrico durante el encendido y apagado. Con este control la conmutación suave difiere del cruce por cero.

El control denominado dimerización por fase, utiliza unos dimmers electrónicos que regulan la intensidad lumínica mediante la técnica de conmutación. Aunque los primeros dimmers de resistencia variable eran voluminosos y específicos para ciertas luminarias, los modernos

utilizan tiristores y control por ángulo de fase, lo que los hace más eficientes y compactos. Este tipo de control permite controlar la potencia de la lámpara de forma suave (Ruales, 2019).

Con relación al tipo de control denominado protocolo de comunicación digital de Iluminación DALI, este se caracteriza por tener un control digital y analógico en un rango de 0-10 voltios. Es fácil de instalar, robusto y escalable, con dos versiones disponibles: DALI-2 y la versión 1. DALI-2 garantiza la interoperabilidad y permite la comunicación bidireccional entre dispositivos, lo que facilita la retroalimentación de datos. Además, es posible reprogramar el software sin modificar el cableado, y se puede controlar de manera individual o grupal, asignando direcciones para el control. El protocolo DALI también permite configurar escenas y tiene una curva de regulación logarítmica que se adapta a la sensibilidad del ojo humano, con un rango de regulación del 0.1% al 100%. Este sistema utiliza cables no polarizados, de esta manera facilita la conexión, y cada elemento adquiere direcciones para un control independiente o comunicación grupal (Ruales, 2019).

3. Metodología

La metodología empleada para mejorar la seguridad estudiantil en el campus de la Universidad Industrial de Santander (UIS) se basó en la investigación aplicada, considerando que este tipo de enfoque se caracteriza por utilizar el conocimiento obtenido. El trabajo de campo se dividió en varios pasos para cada objetivo específico planteado, los cuales se detallan a continuación.

Figura 3.

Esquema metodológico



4. Resultados

En este apartado se desarrolla cada objetivo específico para dar cumplimiento al objetivo principal de esta investigación enfocado a realizar el diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica para zonas comunes exteriores que brinden seguridad y bienestar a la comunidad en general al interior de la Universidad Industrial de Santander sede principal.

4.1 Identificación de zonas comunes exteriores

En esta sección se identificaron doce (12) zonas comunes exteriores ubicadas al interior de la Universidad Industrial de Santander en la sede principal que carecen de un buen sistema de iluminación, por consiguiente, estas áreas se consideran inseguras, quedando expuestas a constantes denuncias públicas por parte de la comunidad educativa. En la primera fase, se realizó una inspección visual en la Universidad en horas de la noche, permitiendo evidenciar y obtener un registro fotográfico de la ausencia de sistemas de iluminación en ciertas zonas comunes exteriores y falencias en algunos otras en donde el sistema es obsoleto o anticuado (Ver figuras 4 a 9). En esta etapa se logra tener claridad de las áreas que debe diseñar o rediseñar el sistema de iluminación.

Figura 4.

a. Mesas de Ping Pong / b. Skate Park



Figura 5.

a. Gimnasio al aire libre. / b. Área de descanso Bienestar Estudiantil

**Figura 6.**

a. Sector del Lago. / b. Sector del Bosque.

**Figura 7.**

a. Vía portería cra 25 hasta el invernadero. / b. Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas / c. Parqueadero edificio Jorge Bautista

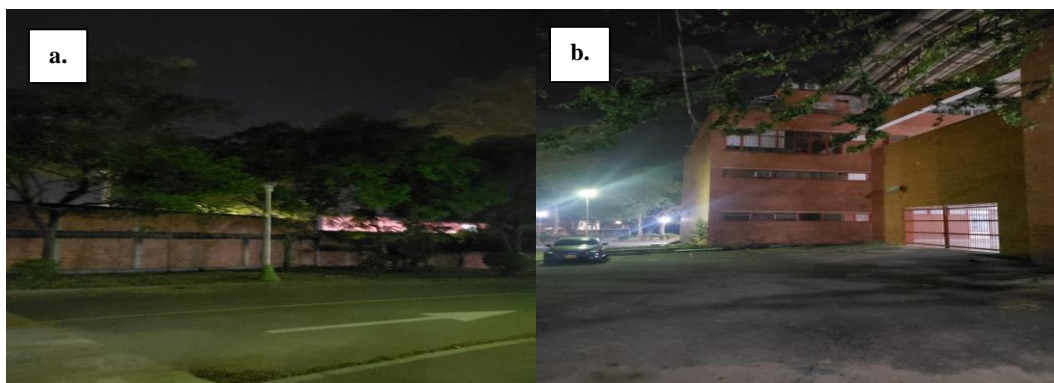




Figura 8.

a. Tablero de estudio 1. / b. Tablero de estudio 2. / c. Tablero de estudio 3.



Posteriormente, se identifica el alcance de los diseños de iluminación a través de un sondeo de opinión digital mediante Google Forms, realizando un cuestionario a la comunidad UIS (administrativos, profesores, estudiantes y visitantes) permitiendo establecer aquellas zonas que son más frecuentadas de los cuales hay un gran número de beneficiarios de la comunidad educativa. Los resultados del sondeo realizado son los siguientes:

Figura 9.

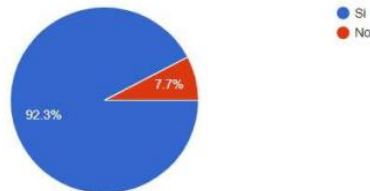
Encuesta de opinión Comunidad UIS

Encuesta de opinión anónima a cerca de los espacios que la Comunidad UIS (Estudiantes, Administrativos y Visitantes) más frecuenta después de las 6:00 pm hasta el cierre de la sede principal UIS (Carrera 27 - Calle 9)

El siguiente cuestionario, nos va a permitir identificar las principales zonas de esparcimiento en donde la comunidad UIS se reúne en el horario nocturno.

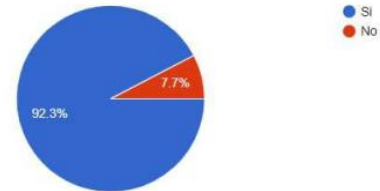
¿Hace parte de la comunidad de la sede principal UIS?

330 responses



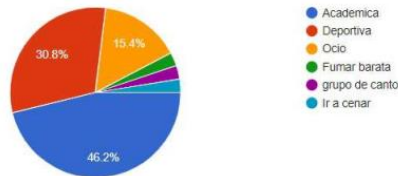
¿Frecuenta la universidad en la franja horaria de 6:00 pm a 11:00 pm?

330 responses



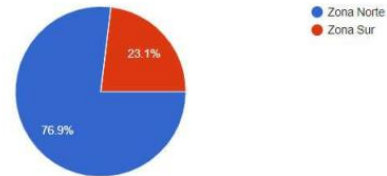
¿Qué tipo de actividad realiza en la franja horaria señalada?

330 responses



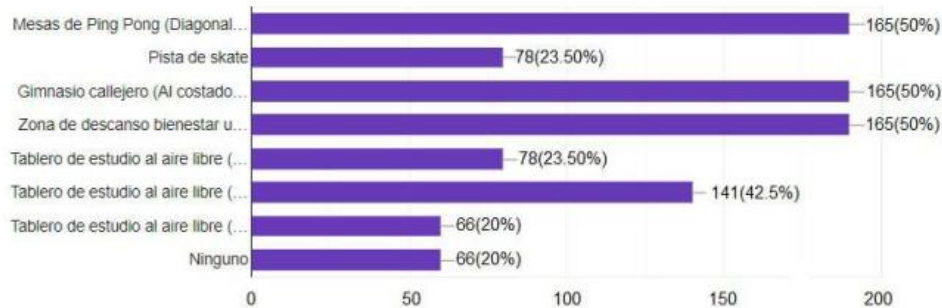
Teniendo como referencia la biblioteca como punto central y la Zona Norte (Hasta la portería de la carrera 33) y la Zona Sur (Hasta la portería de la carrera 25) ¿Hacia que zona se tiende a dirigir en la franja horaria señalada?

330 responses



¿De los siguientes lugares cuales visitas más frecuentemente en la franja horaria señalada?

330 responses



En la última etapa se estableció el estado actual del área delimitada a partir de los resultados de la encuesta de opinión, para lo cual se realizó un segundo recorrido visual en horas del día quedando en registro fotográfico la evidencia de las posibles restricciones para realizar el diseño de iluminación fotovoltaica (Ver figuras 10 a 15).

Las áreas de las mesas de ping pong, el Skate Park, el gimnasio al aire libre, la zona de descanso bienestar estudiantil, los parqueaderos de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas y el edificio Jorge Bautista, los tableros de estudio se caracterizan por su alta incidencia de radiación solar, lo que asegura una generación eficiente de energía solar durante la mayor parte del año. La ausencia o escasa presencia de obstrucciones solares, como edificios elevados o árboles de gran tamaño, es fundamental para permitir que los paneles solares estén directamente expuestos al sol. El terreno es apropiado, ofreciendo suficiente espacio y la capacidad de orientar las luminarias fotovoltaicas en la dirección óptima para captar la luz solar.

Figura 10.

a. Mesas de Ping pong / b. Skate Park



Figura 11.

a. Gimnasio al aire libre / b. Zona de descanso bienestar estudiantil

**Figura 12.**

a. Sector del Lago. / b. Sector del Bosque.



Las áreas de los sectores del Lago y del Bosque, son restringidas para el diseño de iluminación fotovoltaica ya que presentan desafíos notables. Se caracterizan por una extensa área de sombra, que puede derivar de la presencia de árboles frondosos, edificios de gran altura u otras obstrucciones que reducen drásticamente la cantidad de luz solar disponible para la carga de las luminarias, disminuyendo su eficiencia. Además, en estas zonas, la densa vegetación y las restricciones ambientales pueden complicar la instalación de postes, ya que a menudo se prohíbe la eliminación de árboles u otras plantas. Las condiciones topográficas desfavorables, al evidenciar terrenos irregulares, serían objeto de estudio para una extensión del proyecto de investigación.

Figura 13.

a. Vía portería cra 25 hasta el invernadero. / b. Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas



Figura 14.

a. Parqueadero edificio Jorge Bautista / b. Tablero de estudio 1

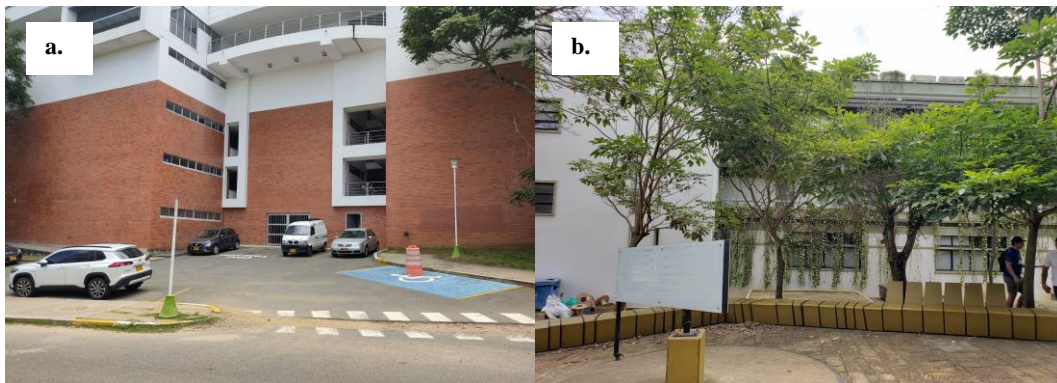


Figura 15.

a. Tablero de estudio 2. / b. Tablero de estudio 3



4.2 Levantamiento de información para el desarrollo de sistemas de iluminación fotovoltaica

A continuación, se encuentra la información necesaria para el desarrollo del sistema de iluminación fotovoltaico dentro del campus universitario. Una vez identificado el alcance del proyecto, se realiza una búsqueda de recursos digitales y físicos, con la finalidad de tener la información de los planos que permitan identificar las dimensiones de las áreas seleccionadas y así poder ejecutar la simulación en el software “Dialux EVO”. Los planos arquitectónicos que facilitó el área a cargo son del año 2020 y posteriormente se han realizado nuevas obras o estructuras y estas reformas no se encuentran registradas en dichos planos. Por tanto, fue necesario el levantamiento de la información en las zonas seleccionadas.

De acuerdo con lo anterior y para poder dar cumplimiento a este objetivo se inició con la delimitación y medición de las siete (7) áreas seleccionadas para el diseño de iluminación fotovoltaica junto con tres (3) áreas seleccionadas para el rediseño del sistema de iluminación con tecnología fotovoltaica. Con la herramienta AutoCAD se delimita cada área, que corresponde al contorno de las zonas.

4.2.1 Delimitación de área de estudio

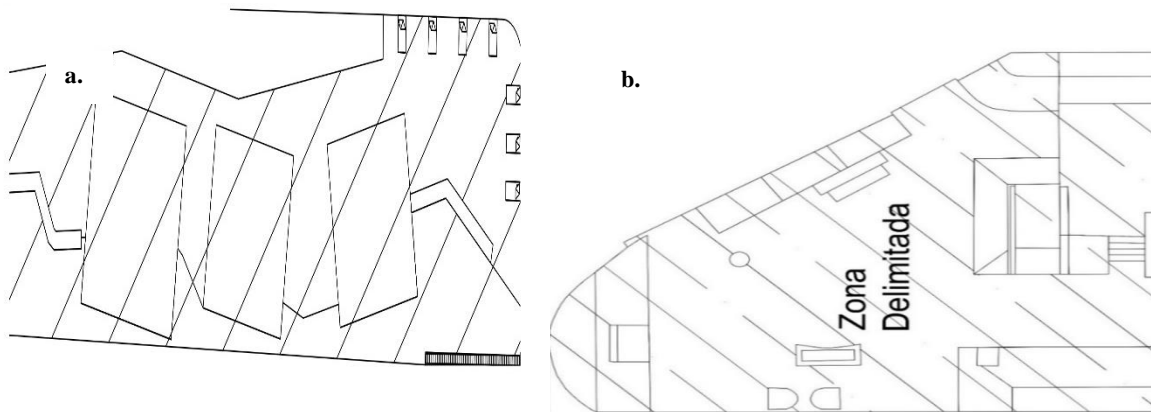
Para este proyecto de diseño de sistemas de iluminación fotovoltaica en áreas exteriores de la Universidad Industrial de Santander sede principal, se ha delimitado cuidadosamente el área de intervención. La delimitación incluye las diez (10) áreas seleccionadas: mesas de ping pong, Skate Park, gimnasio al aire libre, área de descanso bienestar estudiantil, vía portería cra 25 hasta el invernadero, parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas y edificio Jorge Bautista, y tres tableros de estudio.

Mesas de Ping-Pong: Se ha delimitado un área total de 1047.46 metros cuadrados para las mesas de ping-pong, proporcionando un espacio amplio y adecuado para esta actividad recreativa (Ver figura 16 a).

Skate Park: el Skate Park abarca una zona de 1235.392 metros cuadrados, diseñada para los entusiastas del skateboarding (Ver figura 16 b).

Figura 16.

a. Delimitación del área de las mesas de Ping Pong / b. Delimitación del área del Skate Park

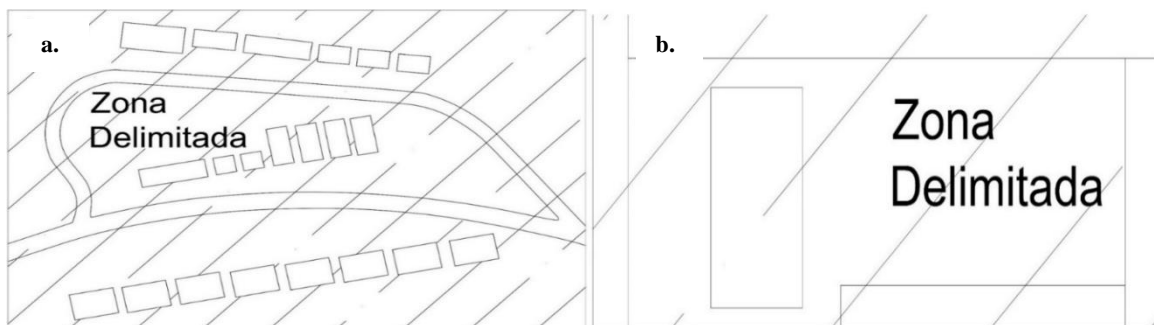


Gimnasio al aire libre: El gimnasio abarca una zona de 1235.392 metros cuadrados, diseñada para los amantes del ejercicio al aire libre (Ver figura 17 a).

Área de descanso bienestar estudiantil: Se ha definido un espacio de 115.344 metros cuadrados para la zona de esparcimiento y descanso ubicada en el área de Bienestar Estudiantil.

Figura 17.

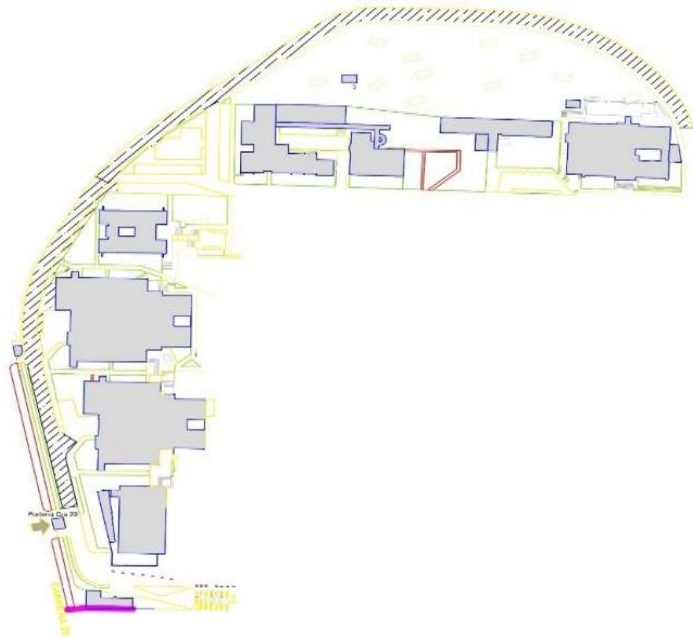
a. Delimitación del gimnasio al aire libre / b. Delimitación de zona de descanso bienestar estudiantil



Vía portería cra 25 hasta el invernadero: El sendero vial que conduce a la salida de la carrera 25 ocupa una superficie de 4389 metros cuadrados, siendo una parte crucial de la delimitación debido a su importancia como vía de acceso y tránsito.

Figura 18.

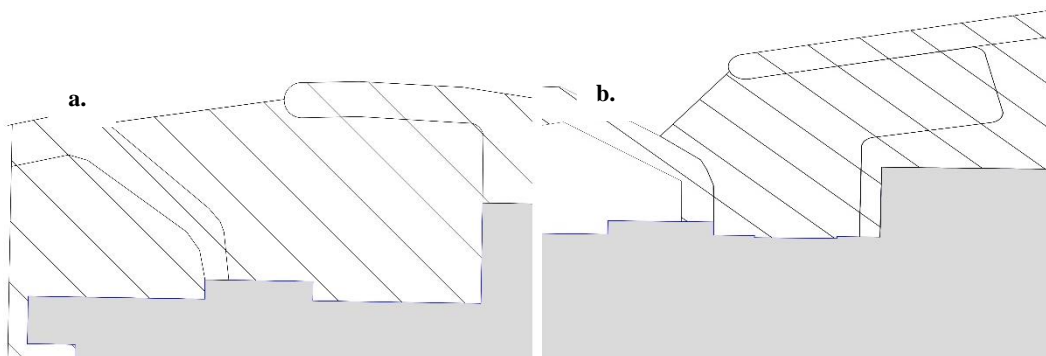
Vía portería cra 25 hasta el invernadero



Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas y Jorge Bautista: esta área se extiende por 485.54 metros cuadrados, proporcionando espacio para estacionamiento.

Figura 19.

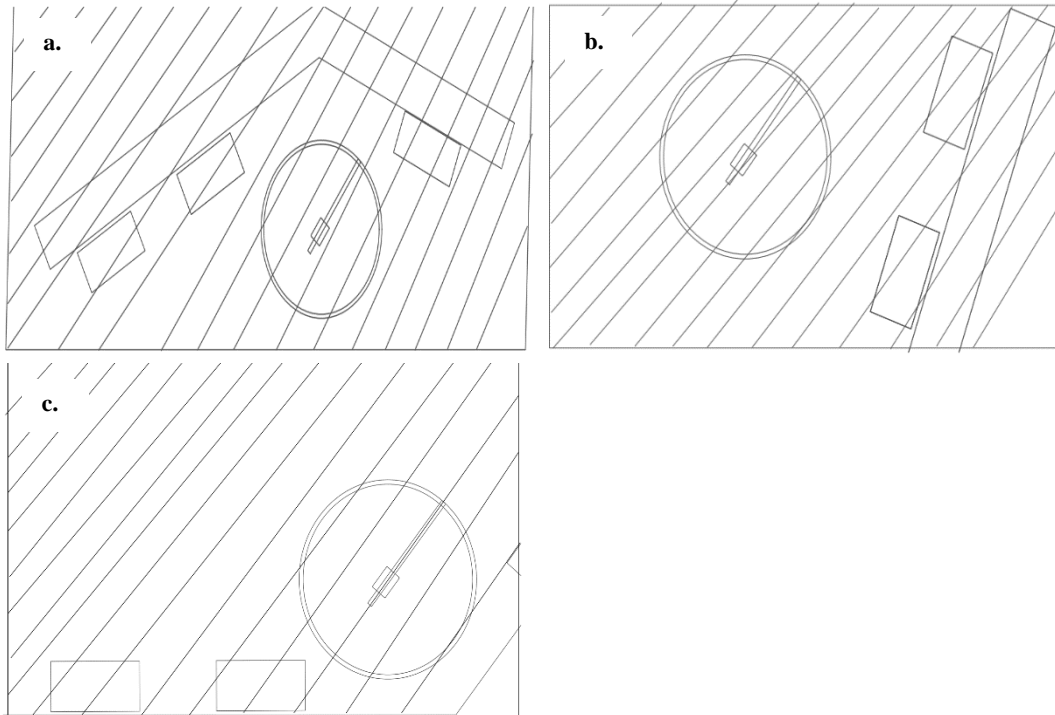
a. Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas / b. Parqueadero edificio Jorge Bautista



Tableros de estudio: tienen un área aproximada de 113,097 metros cuadrados esta zona es muy usada por los estudiantes para realizar sus actividades académicas y tiene bastante afluencia de estudiante

Figura 20.

a. Tablero de estudio 1. / b. Tablero de estudio 2. / c. Tablero de estudio 3.



Actualmente, existe un incumplimiento de esta normativa en las áreas de diseño, que carecen de iluminación adecuada, por consiguiente, se busca fomentar la estimulación en entornos propicios y brindar una sensación de seguridad a los peatones. Para respaldar lo mencionado previamente, se llevó a cabo un estudio de medición utilizando un luxómetro de la marca Erasmus ELL – 400 Led Light Meter. A continuación, se encuentra el dispositivo de medición utilizado, y la siguiente tabla detalla las especificaciones técnicas del mismo.

Figura 21.*Erasmus ELL – 400 Led Light Meter***Tabla 10.***Especificaciones técnicas del equipo de medición*

Componente	Especificaciones
Display	LCD 3 -3/4 dígitos ,41 segmentos
Rango de medición	40, 400, 4000 y 40 000 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 4,0 veces/seg.
Temperatura y humedad de funcionamiento	5°C ~ 40°C, 70% HR
Temperatura y humedad de almacenamiento	10°C ~60°C, 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	162(L) mm x 63(W) mm x 28(H) mm.
Peso	250 g (8,8 oz)
Salida analógica	Salida Jack estándar (3,5 mm, coaxial de 3 polos) 1mVDC /1 dígito
Rango	40 lux/fc, 1 0mV por lux/fc 400 lux/fc, 1 mV por lux/fc 4.000 lux/fc, 0,1 mV por lux/fc 40.000 lux/fc, 0,1 mV por 10 lux/fc
Agregar precisión básica	±0,5 % de la lectura de la pantalla LCD

4.2.2 Medición de nivel de iluminación

Seguidamente, se llevó a cabo el levantamiento de datos de las zonas delimitadas para el diseño de iluminación de exteriores, teniendo en consideración la ubicación y la elevación necesaria, la cual está contemplada a nivel del suelo. En la siguiente tabla se muestra para cada área las mediciones obtenidas con el dispositivo de medición Erasmus ELL – 400 Led Light Meter, permitiendo identificar el nivel de iluminación mínimo y máximo y el promedio total. Posteriormente se puede visualizar las mediciones en las figuras 22 a la 27 de cada zona intervenida.

Tabla 11.

Mediciones del nivel de iluminación para cada área de estudio

Mediciones por área de estudio	Nivel de iluminación (lx)		
	Mínimo	Máximo	Promedio total
Mesas de Ping Pong	2,07	6,61	3,31
Skate Park	1,12	9,91	3,8
Gimnasio al aire libre	0,22	4,22	1,63
Descanso bienestar estudiantil	1,06	1,88	1,53
Tablero de estudio 1	0,84	2,39	1,38
Tablero de estudio 2	0,75	3,54	1,63
Tablero de estudio 3	0,55	2,91	2,15
Vía portería cra 25 hasta el invernadero	0,84	6,28	2,68
Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas	0,52	1,76	0,98
Parqueadero del edificio Jorge Bautista	1,5	3,4	2.02

Figura 22.

a. Mediciones del área de mesas de Ping Pong / b. Mediciones del Skate Park

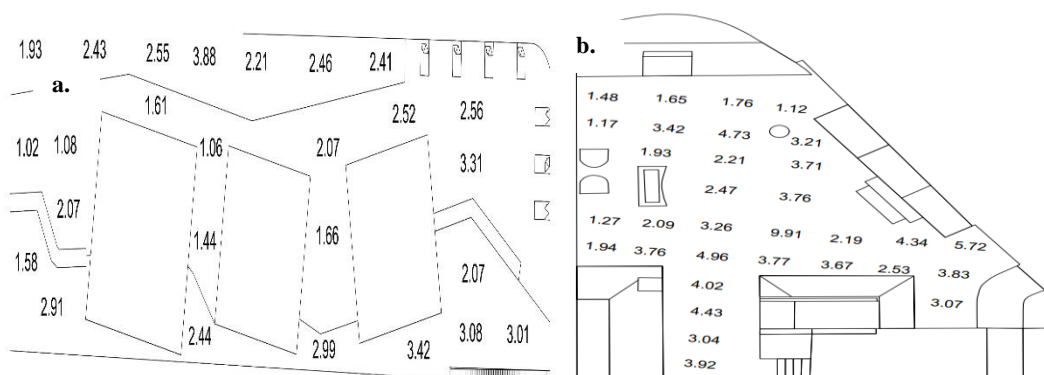


Figura 23.

a. Mediciones del gimnasio al aire libre / b. Mediciones de la zona de descanso bienestar estudiantil

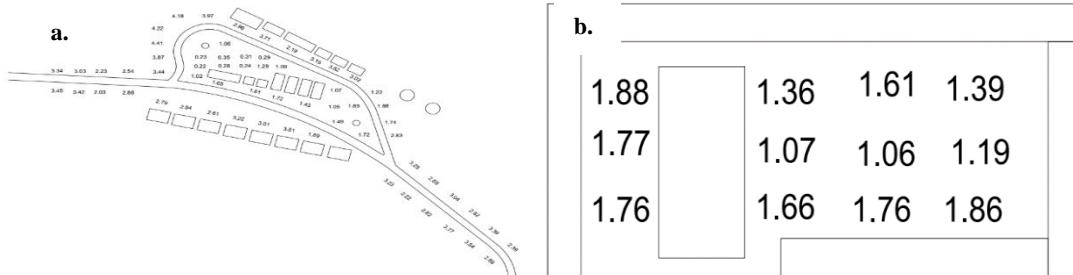


Figura 24.

Mediciones de la vía portería cra 25 hasta la cafetería lateral del edificio ingeniería Industrial

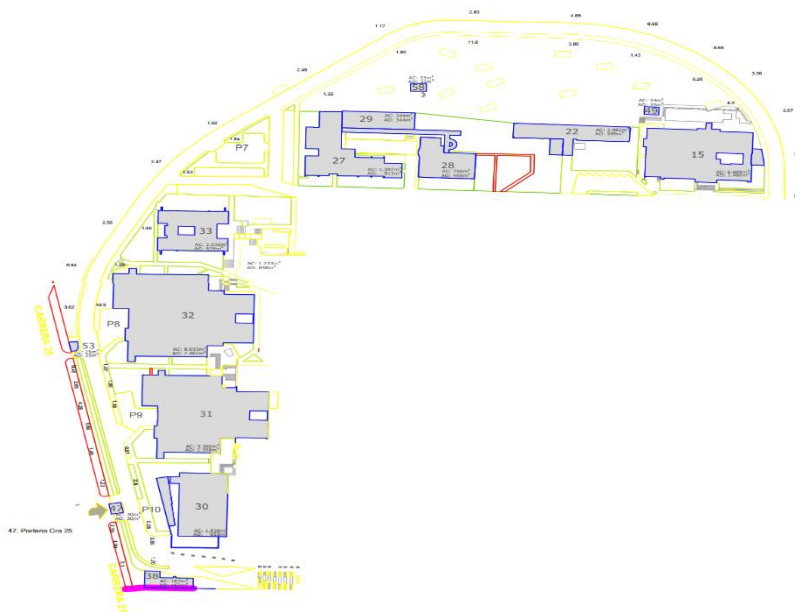


Figura 25.

a. Mediciones del área del tablero de estudio 1 / b. Mediciones del área del tablero de estudio 2

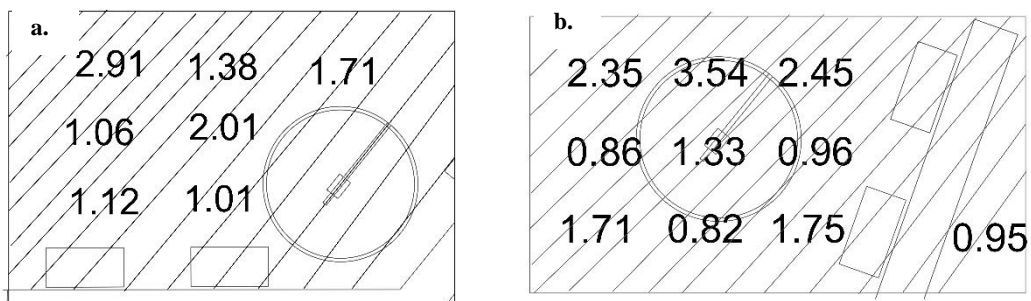
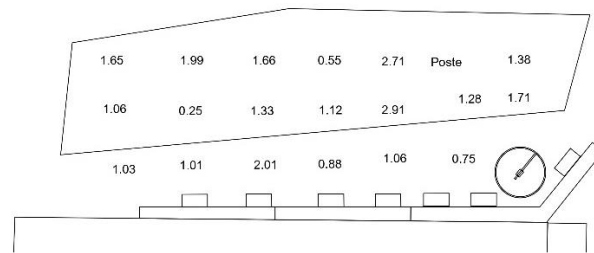
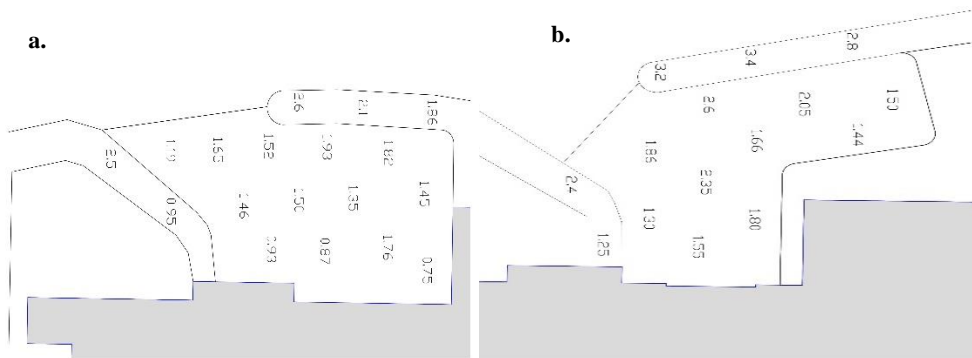


Figura 26.*Mediciones del área del tablero de estudio 3***Figura 27.***Mediciones del parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas / Mediciones del Parqueadero edificio Jorge Bautista*


4.3 Diseño del sistema de iluminación fotovoltaica

Para iniciar con el diseño de iluminación fotovoltaica fue importante detectar las necesidades y restricciones de cada zona. Luego de realizar la búsqueda de luminarias solares disponibles en el mercado, se tomó la decisión de usar luminarias LED solares integradas o todo en uno de la marca SYLVANIA, estas luminarias cuentan con una avanzada tecnología que les permite ser livianas y de fácil montaje sin dejar de lado los buenos niveles de potencia y flujo luminoso. Debido a la forma de una de las áreas fue necesario el uso de una tecnología solar diferente, cuyo kit solar trae por separado los paneles, la batería y la luminaria.

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas de las luminarias seleccionadas:

Tabla 12.


Especificaciones técnicas Led solar integrada S60 PRO NW

Modelo: Led solar integrada S60 PRO NW / P29560		
Marca Sylvania		
Especificaciones técnicas del kit		
	Tecnología de la luminaria	LED
	Potencia del módulo led	55 W
	Potencia del panel solar	46 W
	Capacidad máxima de la batería	54 Ah
	Flujo luminoso	8500 lm
	Eficiencia luminaria	185 lm/W
	Temperatura de color	4000K
	Reproducción de color	>70
	Dimensiones del proyector	842x363x85 mm

Nota: Ver Anexo 1 para más información de las luminarias, el panel y baterías.


Tabla 13.

Especificaciones técnicas Led solar integrada S80 PRO 6K

Modelo: Led solar integrada S80 PRO 6K / P29561 /		
Marca Sylvania		
Especificaciones técnicas del kit		
	Tecnología de la luminaria	LED
	Potencia del módulo led	80 w
	Potencia del panel solar	58 w
	Capacidad máxima de la batería	72 ah
	Flujo luminoso	12000 lm
	Eficiencia luminaria	185 lm/w
	Temperatura de color	4000k
	Reproducción de color	>70
	Dimensiones del proyector	1178x386x243 mm

Nota: Ver Anexo 1 para más información de las luminarias, panel y baterías

Tabla 14.*Especificaciones técnicas Kit solar SYLFLOOD 80W 100P LI*

Modelo: Kit solar SYLFLOOD 80W 100P LI / P38154 / Marca Sylvania		
Especificaciones técnicas del kit		
	Tecnología de la luminaria	LED
	Potencia del módulo led	80 w
	Potencia del panel solar	2x165 w
	Capacidad máxima de la batería	4x50 ah
	Flujo luminoso	11040 lm
	Eficiencia luminaria	138 lm/w
	Temperatura de color	5000k
	Reproducción de color	>70
	Dimensiones del proyector	706.1x289x73.6 mm

Nota: Ver Anexo 1 para más información de las luminarias, panel y baterías.

A continuación, se describen los criterios de diseño definidos para cada una de las áreas y los respectivos resultados de las simulaciones realizadas en Dialux. Los criterios de diseño establecidos para espacios de recreación y esparcimiento como son las mesas de ping pong, el Skate Park y el gimnasio al aire libre, se encuentran clasificadas como clase C0 de acuerdo a la tabla de fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías vehiculares (Ver tabla 6). Para estas zonas se requiere una iluminancia promedio de 50 luxes y una uniformidad general mayor o igual al 40% y para el caso de la zona de bienestar que es un área de tipo plaza o plazoleta clasificada como clase C1, la iluminancia promedio es de 40 luxes y con una uniformidad general mayor o igual al 33%.

Respecto a los resultados de la simulación en Dialux EVO se realizó con luminarias al 100% de su capacidad luminosa, en cada figura se observa en detalle el diseño propuesto. Los diseños de iluminación propuestos para cada área de estudio, se realizó mediante el software Dialux EVO.

4.3.1 Mesas de ping pong

4.3.1.1 Criterios de diseño

En la Figura 28 se observa que el área de las mesas tiene una cubierta tipo carpa, por lo cual se propuso ubicar las luminarias por fuera de la cubierta para aprovechar al máximo la irradiación solar en el transcurso del día. La luminaria que mejor se adecúa a las necesidades es la Led Solar Integrada S60 PRO NW de la marca Sylvania.

Figura 28.

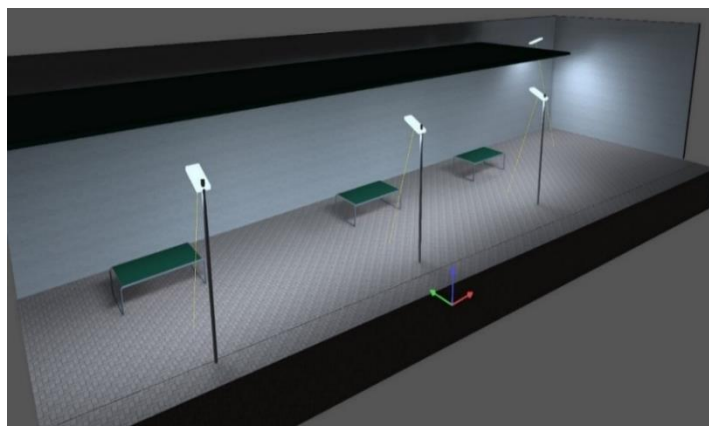
Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el área de las mesas de ping pong



4.3.1.2 Diseño propuesto en DIALux EVO

Figura 29.

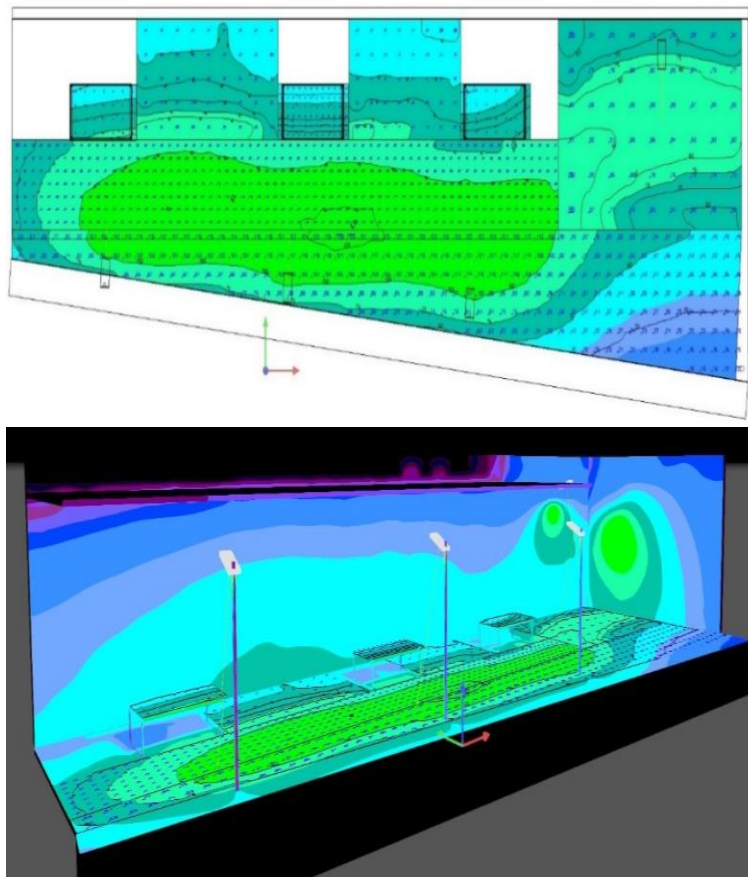
Propuesta de diseño en las mesas de ping pong



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Tabla 15.*Cantidades de luminarias y detalles de montaje en las mesas de ping pong*

Tipo de luminaria	Tipo de montaje	Altura de montaje	Ángulo de montaje	Cantidad
Led Solar Integrada S60 PRO NW/ P29560	Montaje en poste recto	4 m	20°	3
Led Solar Integrada S60 PRO NW/ P29560	Montaje en poste recto	5 m	20°	1

4.3.1.3 Resultados de la simulación en Dialux EVO**Figura 30.***Vista 2D y 3D del espectro luminoso de las mesas de ping pong*

Nota: Simulación de la vista en 2D y 3D del espectro luminoso DIALux EVO

Tabla 16.

Resultados obtenidos en la simulación del diseño de las mesas de ping pong

Zona objeto de cálculo	Altura del punto de medición (m)	Nivel de iluminación (lx)	Uniformidad
Mesa 2	0.8	56.5	0.84
Mesa 3	0.8	54.4	0.84
Suelo	0	103	0.49
Área de juego	0	78	0.71

Nota: Ver Anexo 2 para observar resultados al detalle.

4.3.2 Skate Park

4.3.2.1 Criterios de diseño

El Skate Park presenta una particularidad con sus diferentes niveles de suelo, para dar una óptima solución e intentar buscar la mayor uniformidad posible, se propuso ubicar postes con reflectores por los dos frentes de la pista, tal como se observa en la Figura 31. En esta área se seleccionaron los reflectores KIT SOLAR SYLFLOOD 80W 100P LI.

Figura 31.

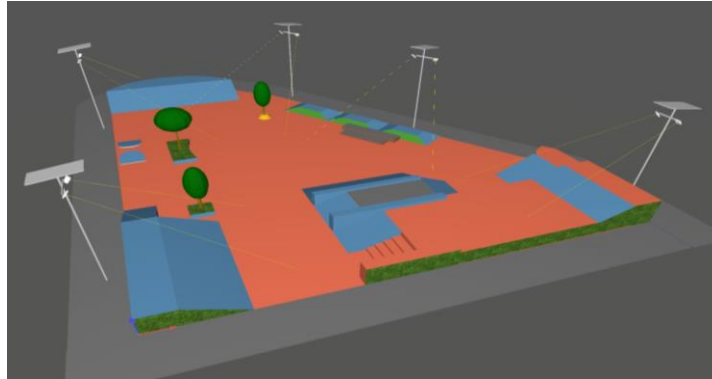
Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el Skate Park



4.3.2.2 Diseño propuesto en DIALux EVO

Figura 32.

Propuesta de diseño en el Skate Park



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Tabla 17.

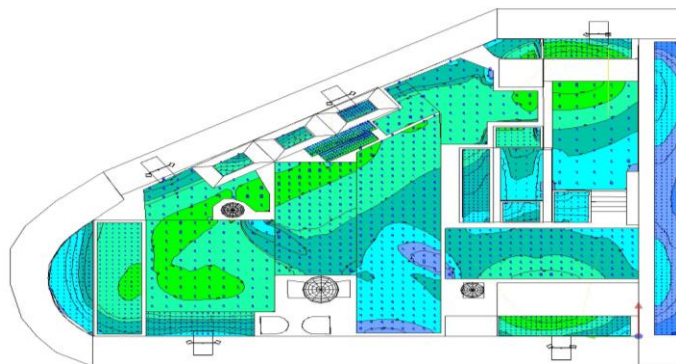
Cantidades de luminarias y detalles de montaje en el Skate Park

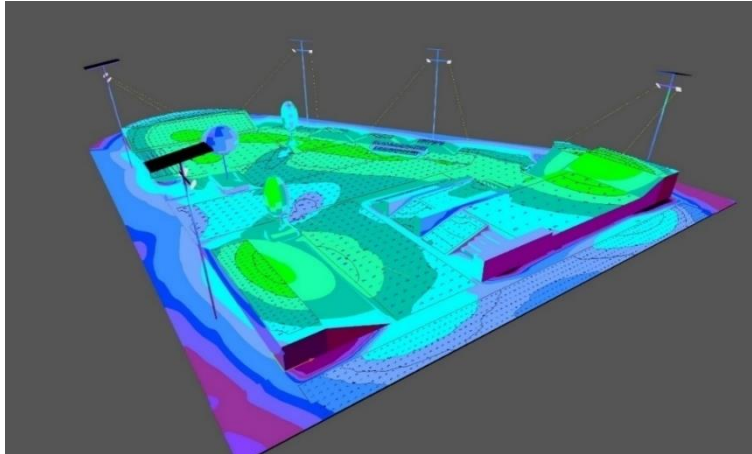
Tipo de luminaria	Tipo de montaje	Altura de montaje	Ángulo de montaje	Cantidad
Kit Solar SYLFLOOD 80W 100P LI / P38154	Montaje en poste recto	8 m	50°	10

4.3.2.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO

Figura 33.

Vista 2D y 3D del espectro luminoso del Skate park





Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso DIALux EVO

Tabla 18.

Resultados obtenidos en la simulación del diseño del Skate park

Zona objeto de cálculo	Altura (m)	Nivel de iluminación(lx)	Uniformidad
Elevaciones (más baja)	2.2	89	0.51
Suelo (valor más alto)	0.8	54.4	0.84
Rampas	-	77.1	0.45
Sendero peatonal	0	78	0.71

Nota: Ver Anexo 2 para observar resultados al detalle.

4.3.3 Gimnasio al aire libre

4.3.3.1 Criterios de diseño

El gimnasio es una zona bastante arborizada, lo cual presentó un reto importante a la hora de encontrar una buena ubicación de las luminarias en el diseño propuesto. En el levantamiento de información de la zona se identificaron 6 puntos despejados de arborización. Para esta zona fue seleccionada la luminaria led solar integrada S80 PRO 6K / P29561 de la marca Sylvania.

Figura 34.

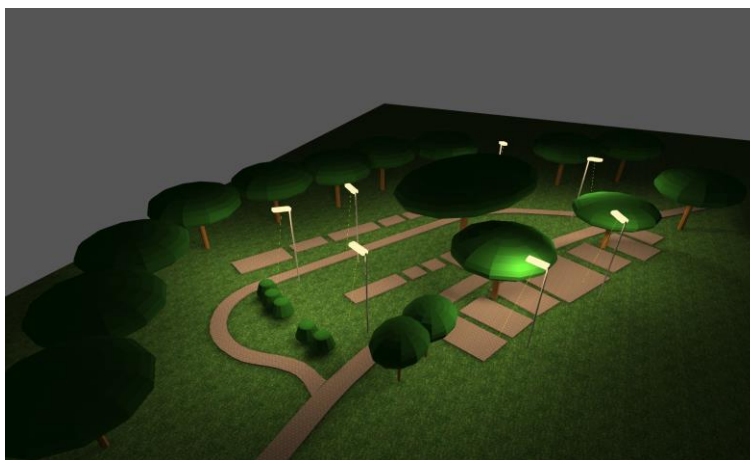
Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el gimnasio al aire libre



4.3.3.2 Diseño propuesto en DIALux EVO

Figura 35.

Propuesta de diseño en el gimnasio al aire libre



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Tabla 19.

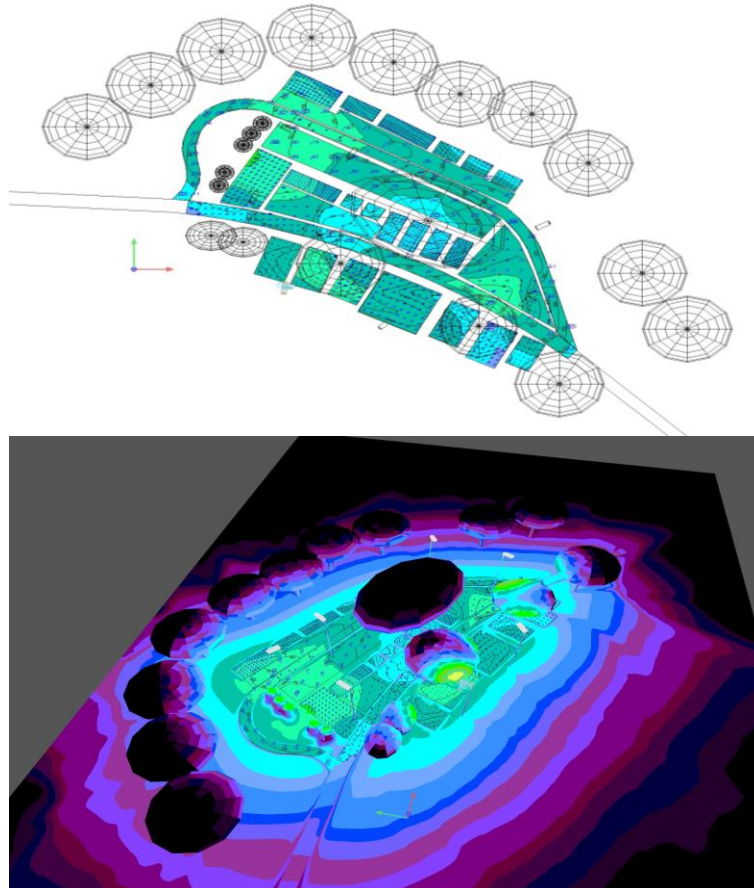
Cantidades de luminarias y detalles de montaje del gimnasio al aire libre

Tipo de luminaria	Tipo de montaje	Altura de montaje	Ángulo de montaje	Cantidad
Led Solar Integrada S80 PRO 6K / P29561	Montaje en poste recto	7 m	10°	7

4.3.3.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO

Figura 36.

Vista en 2D y 3D del espectro luminoso del gimnasio al aire libre



Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Tabla 20.

Resultados obtenidos en la simulación del diseño del gimnasio al aire libre

Zona objeto de cálculo	Altura (m)	Nivel de iluminación(lx)	Uniformidad
Zonas de máquinas	0.1	56.8	0.77
Suelo	0	66.4	0.69
Senderos	0.1	63.2	0.65

Nota: Ver Anexo 2 para observar resultados al detalle.

4.3.4 Área de descanso bienestar estudiantil

4.3.4.1 Criterios de diseño

En el levantamiento de información de la zona se identificaron dos (2) puntos despejados de arborización para ubicar las luminarias. Para esta zona fue seleccionada la luminaria Led Solar Integrada S40NW / P29569 de la marca Sylvania

Figura 37.

Propuesta inicial de ubicación para las luminarias en el área de descanso bienestar estudiantil



4.3.4.2 Diseño propuesto en DIALux EVO

Figura 38.

Propuesta de diseño en el área de descanso bienestar estudiantil



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Tabla 21.

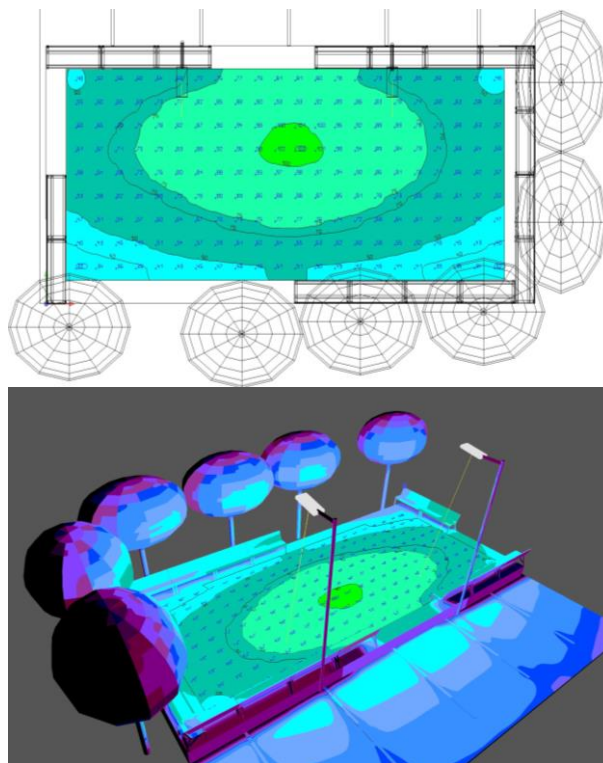
Cantidades de luminarias y detalles de montaje del área de descanso Bienestar Estudiantil

Tipo de luminaria	Tipo de montaje	Altura de montaje	Ángulo de montaje	Cantidad
Led Solar Integrada S60 PRO / P29560	Montaje en poste con brazo	6 m	10°	2

4.3.4.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO

Figura 39.

Vista 2D y 3D del espectro luminoso en el área de descanso Bienestar Estudiantil



Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Tabla 22.

Resultados obtenidos en la simulación del diseño en el área de descanso Bienestar Estudiantil

Zona objeto de cálculo	Altura (m)	Nivel de iluminación(lx)	Uniformidad
Suelo	0.5	68.8	0.46

Nota: Ver Anexo 2 para observar resultados al detalle.

4.3.5 Vía portería cra 25 hasta el invernadero y parqueaderos de edificios Jorge Bautista y Facultad de ingenierías físico-mecánicas

4.3.5.1 Criterios de diseño

El rediseño de esta vía se compone de 3 zonas, el tramo de la vía comprendida entre el invernadero y la portería de la carrera 25, la segunda es el parqueadero del edificio Jorge Bautista y la tercera es el parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas.

Vía entre el invernadero: Esta vía cuenta con un tránsito de vehículos muy reducido y velocidad de circulación muy reducida (Ver tabla 3 correspondiente a la tabla 510.1.1 a. Clases de iluminación para vías vehiculares del RETILAP) que define el área como clase M5.

Para desarrollar el diseño de la vía bajo el criterio de iluminancia (Ver tabla 4 correspondiente a la tabla 510.2.1 b. Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio (lx) en vías motorizadas del RETILAP) que indica que según el tipo de superficie de la vía se cuenta con unos niveles requeridos. Al no poder realizar medidas reales de la superficie de la vía (Ver tabla 5 correspondiente a la 535.2 a. Clasificación de superficies según el factor S1 del RETILAP) donde se define la vía como clase de superficie R1, ya que al ser de asfalto se considera casi difusa. Contemplando lo anterior, y tomando como referencia la tabla 4 donde se seleccionan valores de iluminancia de mínimo 6 luxes y uniformidad del 18%.

Se propone un rediseño instalando postes metálicos galvanizados nuevos en la ubicación de los soportes de luminaria existentes dentro del área de alcance, siempre y cuando no haya restricciones por la densidad de arborización en la zona. Por cuestiones de espacio y optimización se tomará como ejemplo el primer tramo entre la portería de la carrera 25 y el parqueadero del edificio Jorge Bautista. Para esta zona fue seleccionada la luminaria led solar integrada S80 PRO 6K/ P29561 de la marca Sylvania (Ver Anexo 2).

Parqueadero del edificio Jorge Bautista: se mantiene igual criterio considerado para la vía debido a que se mantienen las mismas condiciones de paso y características de la superficie. Se plantea realizar rediseño

Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas : para esta zona se mantiene el mismo criterio tomado para la vía debido a que se mantienen las mismas condiciones de paso y características de la superficie, en este parqueadero se plantea agregar un poste nuevo con una altura de 8 metros para la ubicación de una nueva luminaria.

Figura 40.

Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del rediseño en la vía



Figura 41.

Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del rediseño del parqueadero del edificio Jorge Bautista.



Figura 42.

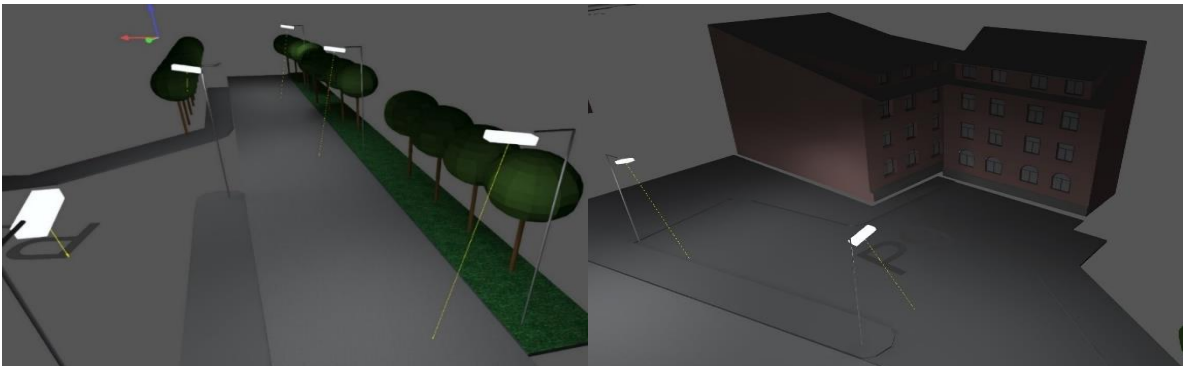
Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del rediseño del parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas.



4.3.5.2 Diseño propuesto en DIALux EVO

Figura 43.

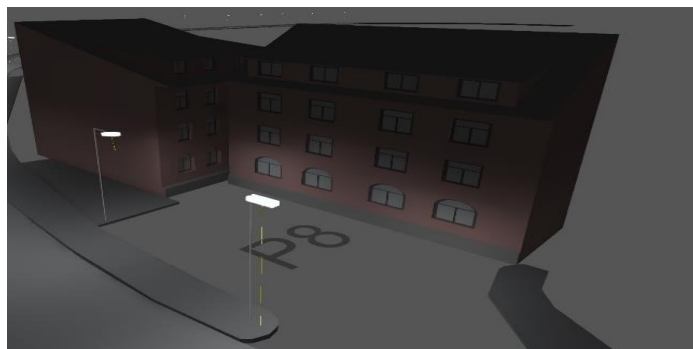
a. Propuesta de diseño en la vía portería cra 25 y parqueadero del edificio Jorge Bautista



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Figura 44.

Propuesta de diseño en el parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Tabla 23.

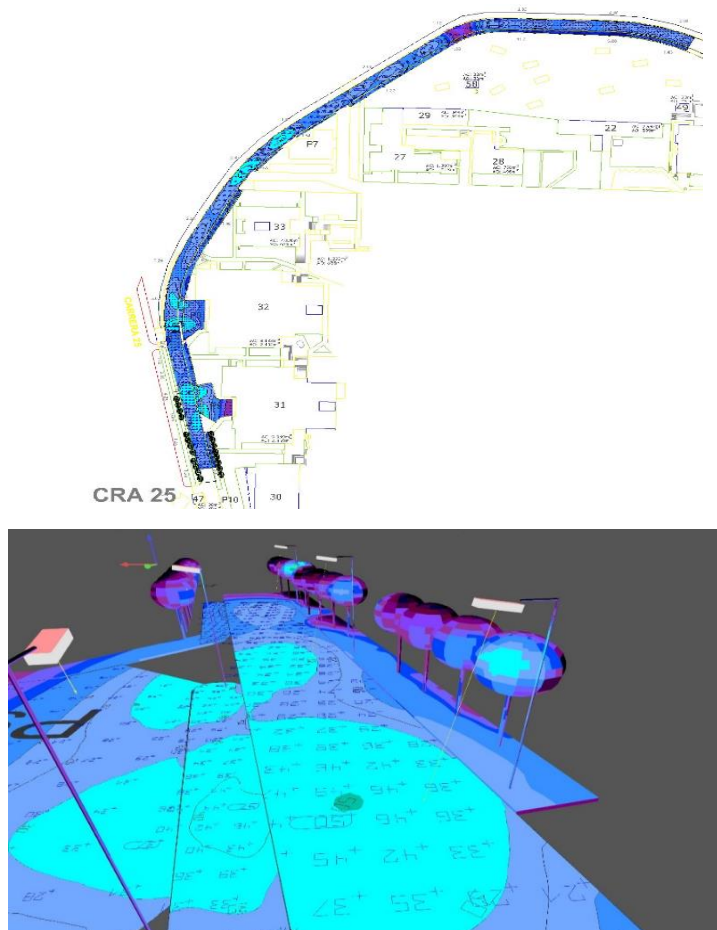
Cantidades de luminarias y detalles de montaje de la vía portería cra 25 y los parqueaderos

Tipo de luminaria	Tipo de montaje	Altura de montaje	Ángulo de montaje	Cantidad
Led Solar Integrada S80 PRO 6K / P29561	Montaje en poste con brazo	8 m	10°	26

4.3.5.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO

Figura 45.

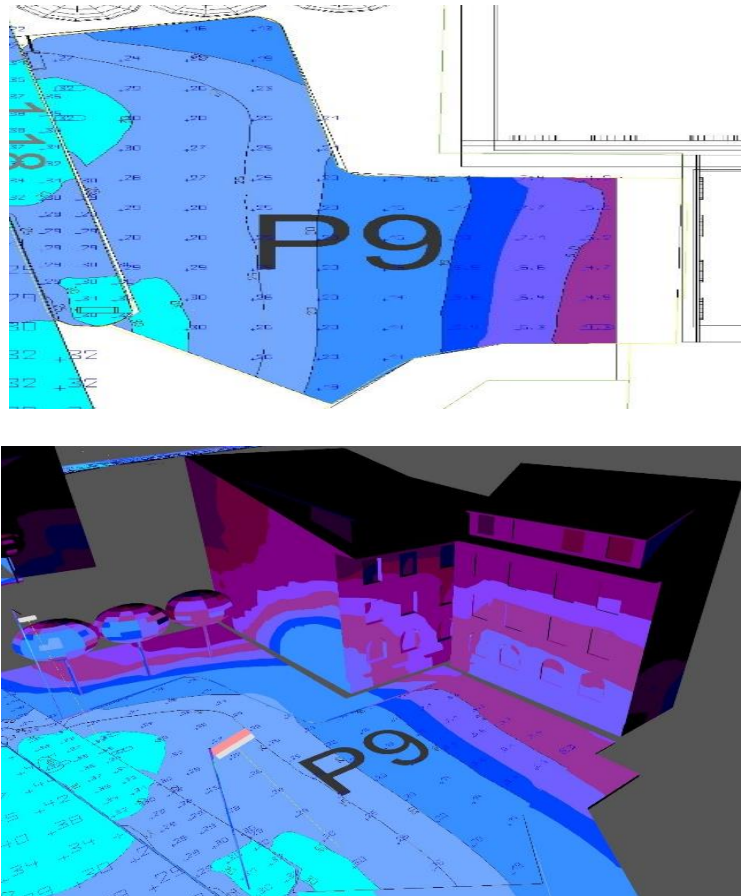
a. Vista 2D y 3D del espectro luminoso de la vía portería cra 25.



Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Figura 46.

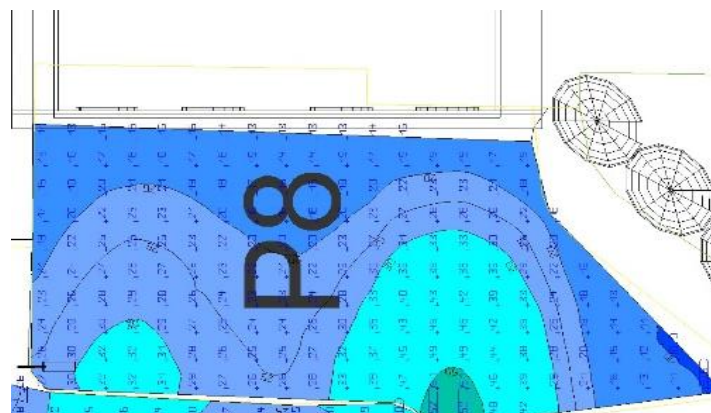
Vista 2D y 3D del espectro luminoso del parqueadero del edificio Jorge Bautista.

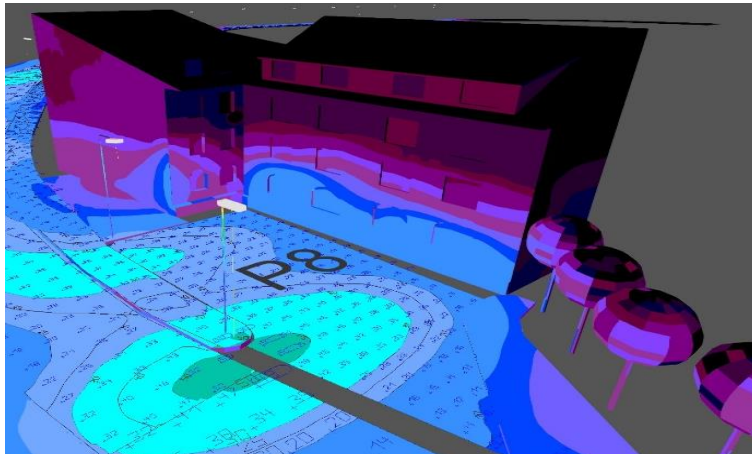


Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Figura 47.

Vista 2D y 3D del espectro luminoso del parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas.





Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Tabla 24.

Resultados obtenidos en la simulación del diseño de la vía portería cra 25.

Zona objeto de cálculo	Altura (m)	Nivel de iluminación(lx)	Uniformidad
Vía portería cra 25	0	23.5	0.44
Sendero peatonal	0.1	15.3	0.57
Parqueadero Jorge Bautista	0	19.3	0.19
Parqueadero de la Facultad de ingenierías físico-mecánicas	0	25	0.37

Nota: Ver Anexo 2 para observar resultados al detalle.

4.3.6 Tableros de estudio al aire libre

4.3.6.1 Criterios de diseño

El diseño de los tableros de estudio al aire libre se compone de 3 zonas diferentes, el primer tablero se encuentra en las cercanías del coliseo, el segundo se encuentra en las cercanías de la biblioteca y por último el tercero se encuentra cerca a la cafetería principal de bienestar universitario.

Las zonas de tableros se diseñaron bajo el criterio de zonas de plazas y plazoletas, aunque sea un espacio de estudio, el enfoque principal de este proyecto es el brindar la sensación de seguridad a aquellas personas que usen estos espacios. De acuerdo con la Tabla 4, se clasifica

como iluminación C1 y requiere de un nivel de iluminación mínimo de 30 luxes y uniformidad de 33%.

Figura 48.

Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del Tablero 1.



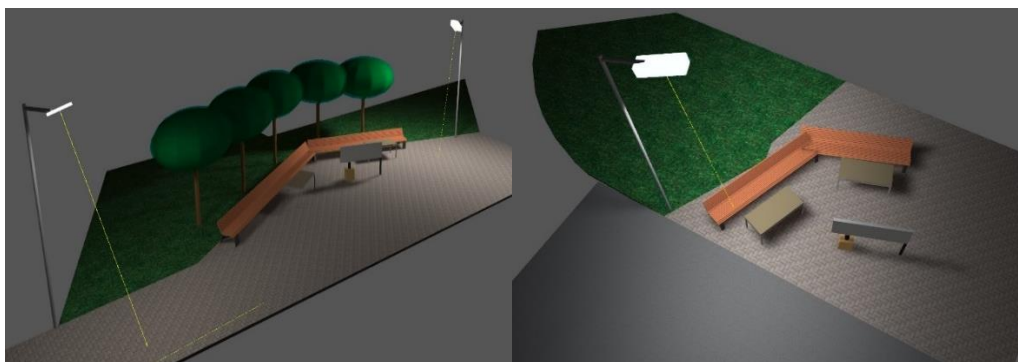
Figura 49.

Propuesta inicial de ubicación para las luminarias del tablero 2 y tablero 3



Figura 50.

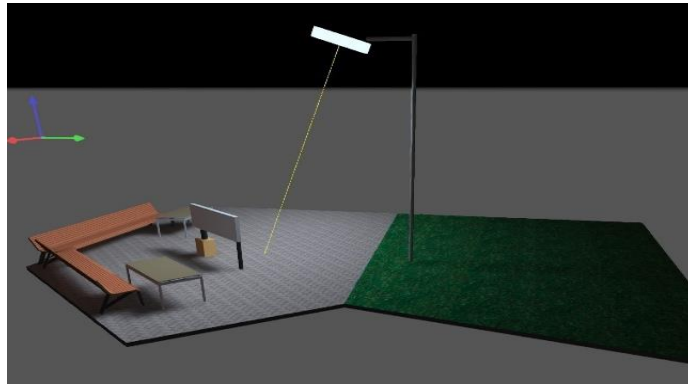
a. Propuesta inicial de diseño en el tablero 1 / b. Propuesta inicial de diseño en el tablero 2



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Figura 51.

Propuesta inicial de diseño en el tablero 3



Nota: Diseño de iluminación DIALux EVO

Tabla 25.

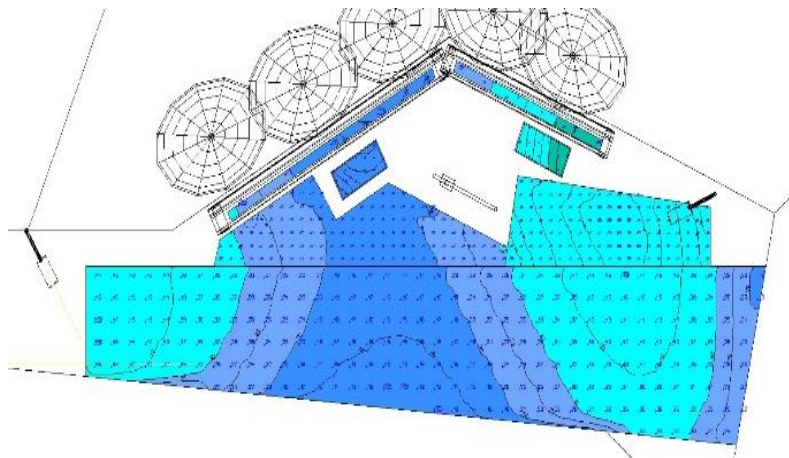
Cantidades de luminarias y detalles de montaje de la vía portería cra 25 y los parqueaderos

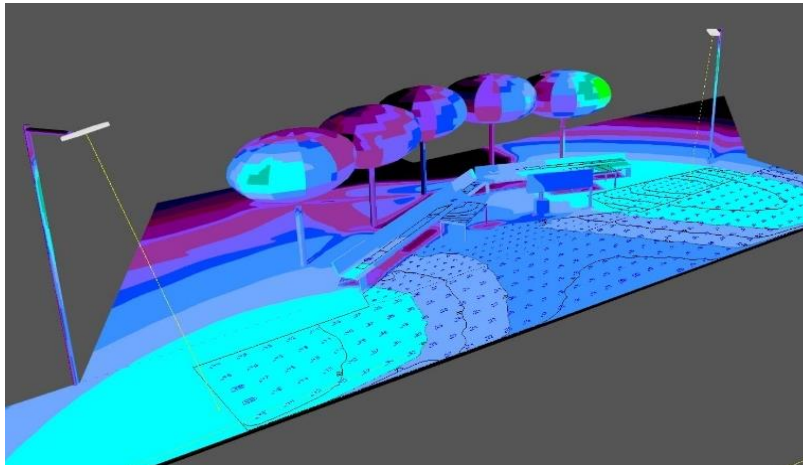
Tipo de luminaria	Tipo de montaje	Altura de montaje	Ángulo de montaje	Cantidad
Led Solar Integrada S80 PRO 6K / P29561	Montaje en poste con brazo de 1 m.	6 m	20°	4

4.3.6.3 Resultados de la simulación en DIALux EVO

Figura 52.

Vista 2D y 3D del espectro luminoso del tablero 1

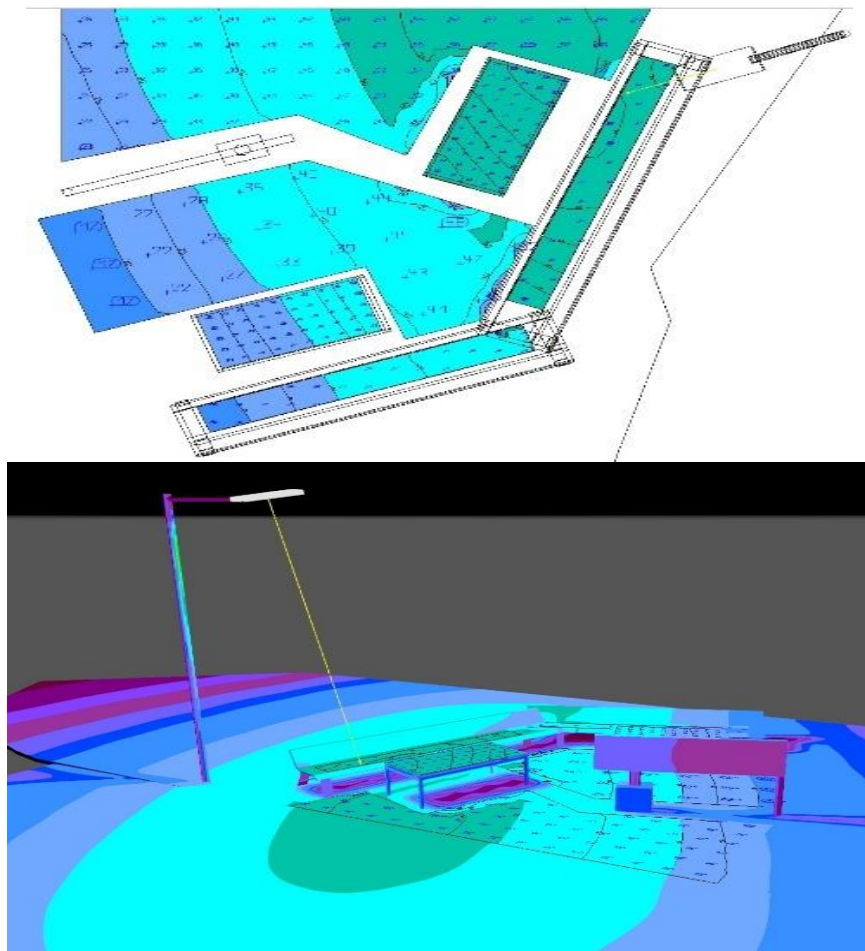




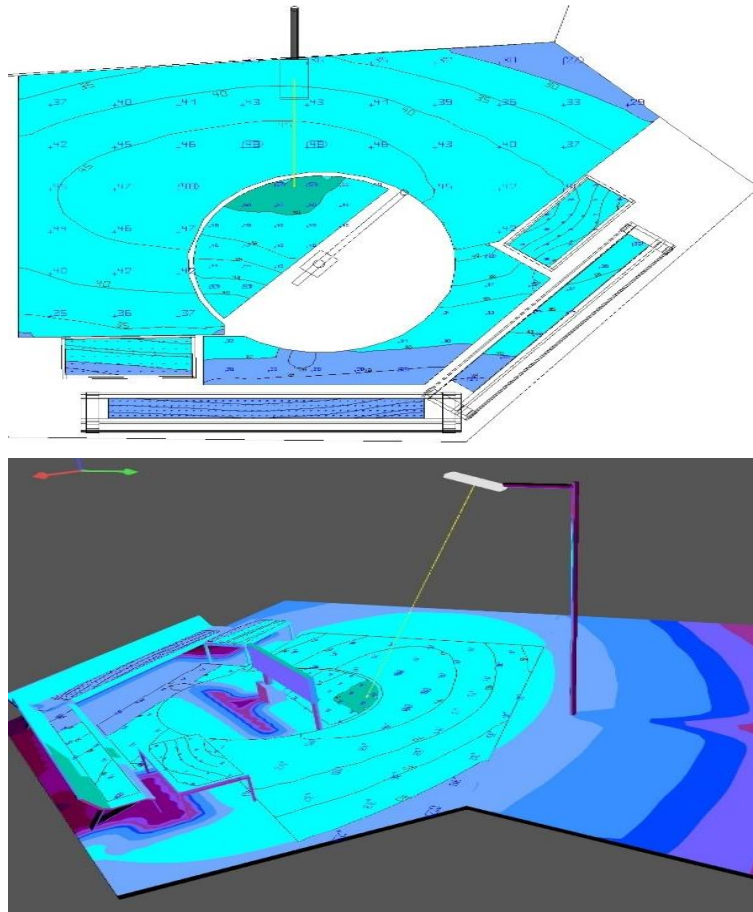
Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Figura 53.

Vista 2D y 3D del espectro luminoso del tablero 2



Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Figura 54.*Vista 2D Y 3D del espectro luminoso del tablero 3*

Nota: Simulación de la vista 2D y 3D del espectro luminoso con el software DIALux EVO

Tabla 26.*Resultados obtenidos en la simulación del diseño de los tableros*

Zona objeto de cálculo	Altura (m)	Nivel de iluminación(lx)	Uniformidad
Tablero 1	0	31	0.55
Tablero 2	0	37.8	0.48
Tablero 3	0	39.8	0.74

Nota: Ver Anexo 2 para observar resultados al detalle.

4.4 Evaluación del sistema de control de iluminación

Para evaluar el sistema de control de iluminación para los diseños propuestos, se eligen los modos de trabajo que se consideran adecuados para cada grupo de luminarias de acuerdo con las necesidades de cada zona. En este sentido, las luminarias solares de marca Sylvania utilizadas en este proyecto cuentan con tres tipos de soluciones de control para los modos de trabajo de sus productos.

En el primer caso es el control tipo On/Off se encarga de encender la luminaria en el momento en que el panel integrado deja de captar irradiancia solar y apaga la luminaria cuando capta nuevamente irradiancia solar. En el segundo caso, el control de tipo dimerizable se activa mediante un sensor de movimiento, el cual aumenta o atenúa la intensidad lumínica de la luminaria. En el tercer caso, el control es de tipo horario, el cual permite la operación de la luminaria en franjas horarias fijadas. De acuerdo con lo anterior, los modos de trabajo disponibles para las luminarias pueden incluir uno o los tres tipos de control.

El sensor de las de luminarias implementadas para las áreas de las mesas de ping pong, gimnasio al aire libre, tableros al aire libre y la vía entre el invernadero y portería de la carrera 25 y zona de bienestar abarca un rango de 8 metros. Únicamente para el Skate Park se utiliza un kit solar SYLFLOOD 80W 100P LI como iluminaria que se caracteriza por tener un solo modo de trabajo con tipo de control On/Off.

El modo de trabajo seleccionados para las áreas de mesas de ping pong, el gimnasio al aire libre, la zona de descanso bienestar estudiantil y tableros al aire libre son con control de tipo dimerizable, con el fin de garantizar el uso eficiente de la energía almacenada en las baterías. Vale precisar, que cuando el sensor detecte movimiento en el rango de cada área, la luminaria

permanecerá en un porcentaje predefinido de su capacidad luminosa y 20 segundos después de no detectar ningún movimiento disminuirá su nivel luminoso al 20% de la capacidad inicial.

En el caso de la iluminación de la vía entre el invernadero y la portería de la carrera 25 y el gimnasio al aire libre se propone que la luminaria mantenga la unión entre un control horario y un control dimerizable, esto permite que durante las primeras 4 horas se mantenga a un porcentaje definido de su capacidad y luego entre en el modo dimerizable mediante el sensor de movimiento (Ver figura 55 y 56). De esta manera se puede garantizar el uso eficiente de la energía almacenada en las baterías, pero conservando la seguridad de los agentes viales y considerando que en la noche esta vía es transitada por vehículos en la franja horaria de 6 a 10 p.m. En cambio, en las mesas de ping pong y los tableros al aire libre las luminarias iluminarán a un 80% de su capacidad luminosa y 20% mientras no se detecte ningún movimiento (Ver figura 57), mientras que la zona de bienestar, aunque mantiene el mismo control dimerizable opera al 60% de su capacidad luminosa cuando detecta movimiento, de lo contrario se atenúa al 20% (Ver figura 58).

La luminaria usada en el Skate Park por su control On/Off se mantiene al 100% de su capacidad luminosa hasta que capte irradiancia solar nuevamente (Ver figura 59).

Figura 55.

Comportamiento del control de iluminación de la vía portería cra 25 y parqueaderos.

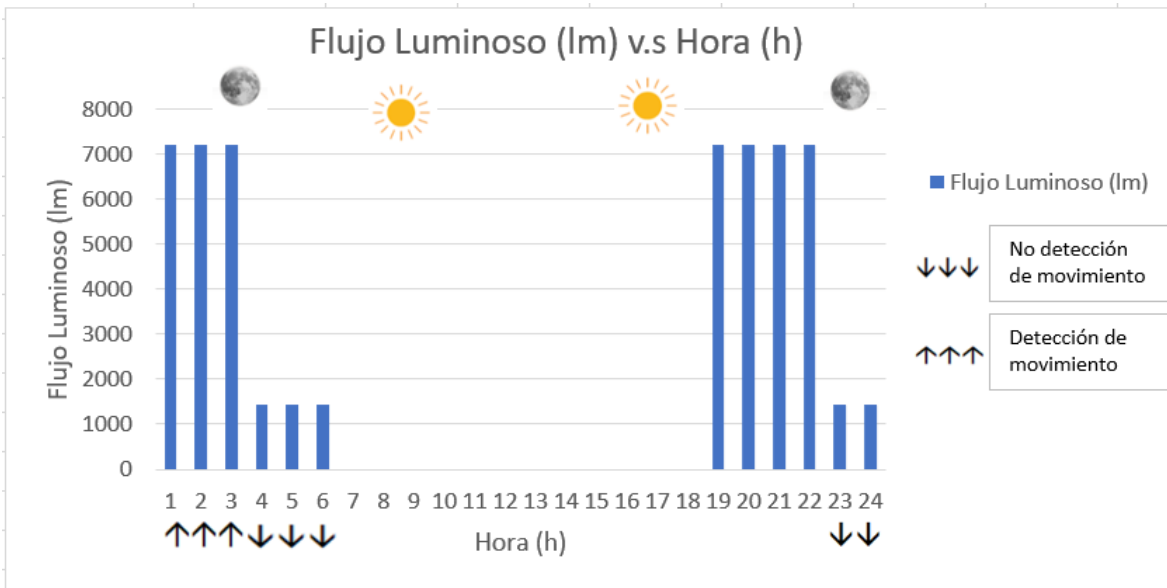


Figura 56.

Comportamiento del control de iluminación del gimnasio al aire libre

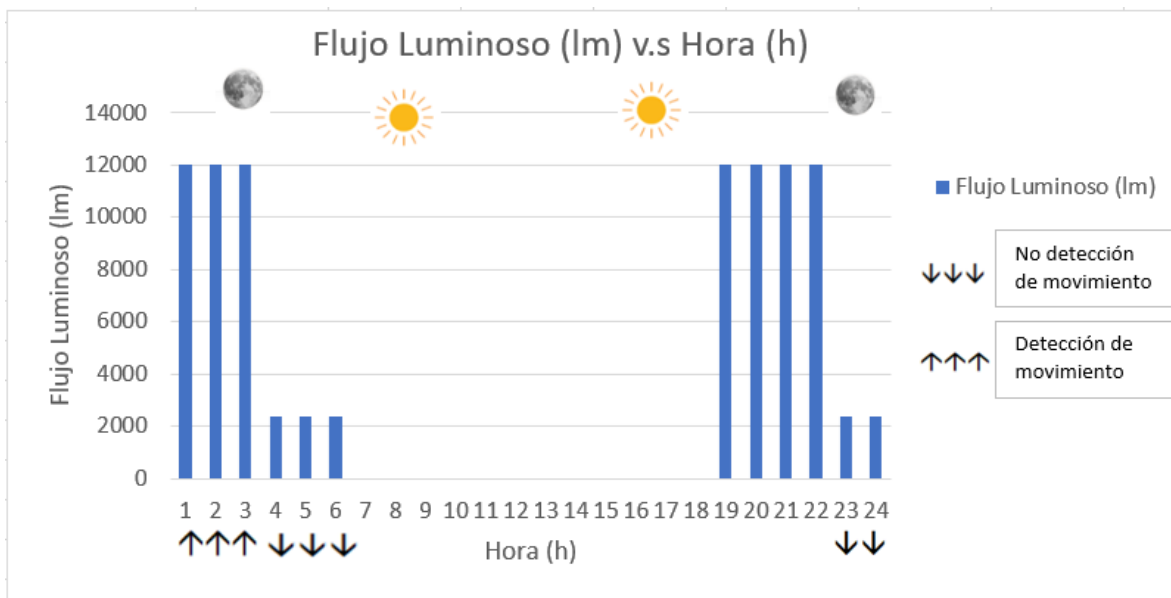


Figura 57.

Comportamiento del control de iluminación de las mesas de ping pong y tableros al aire libre

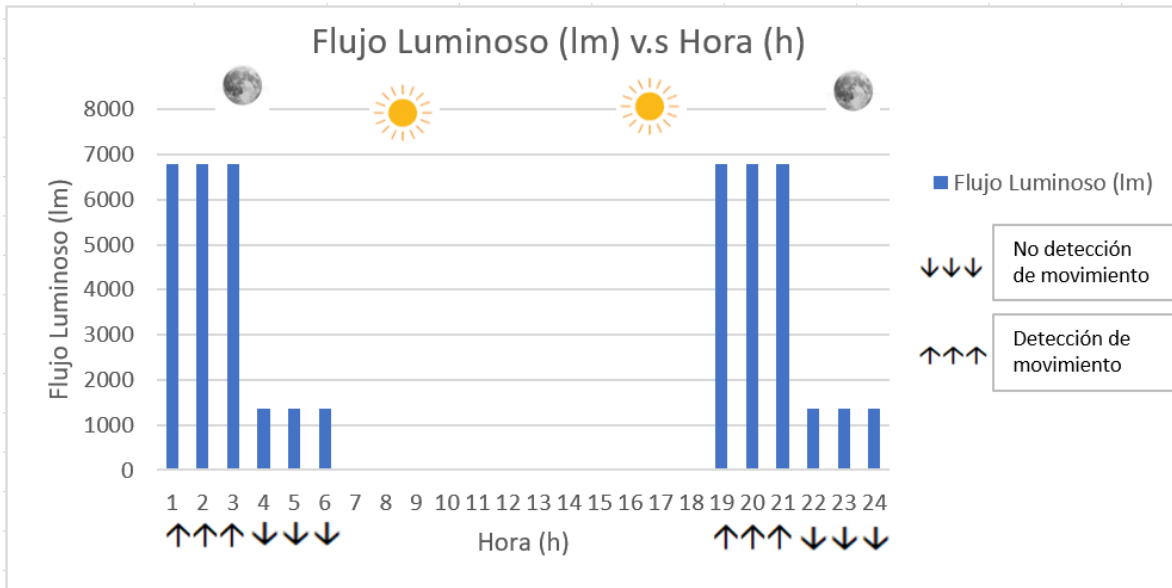


Figura 58.

Comportamiento del control de iluminación de zona de bienestar

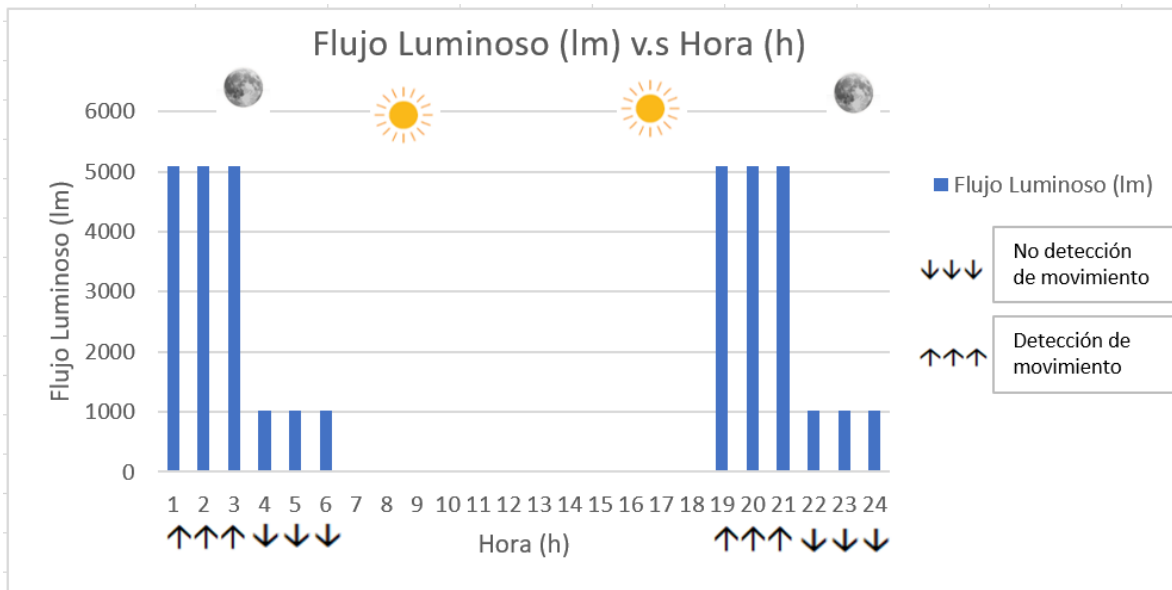
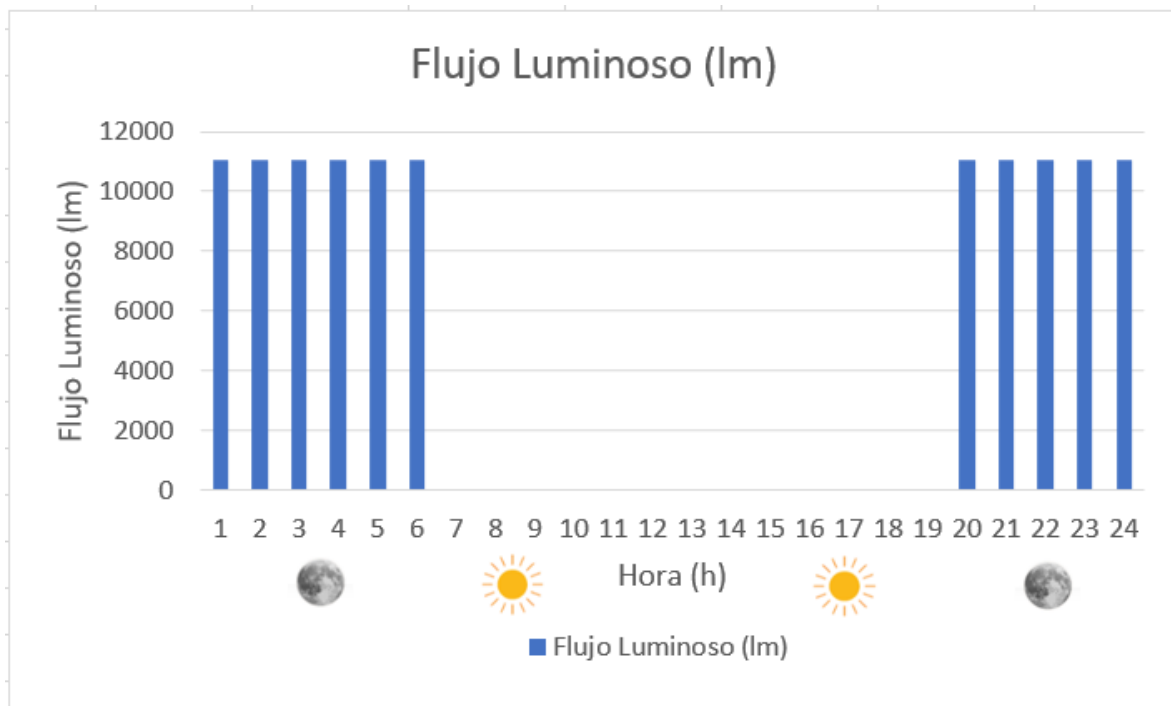


Figura 59.*Comportamiento del control de iluminación de Skate Park*

4.5 Presupuesto de inversión para implementación del sistema de iluminación

Para conocer el monto de inversión de este proyecto de iluminación, se realizó un presupuesto con los equipos, soportes y materiales usados para el montaje de cada uno de estos sistemas, dentro del presupuesto se incluyen los materiales, la mano de obra y el % A.I.U que trata de gastos administrativos, gastos por imprevistos y utilidad.

Tabla 27.*Listado de materiales*

Ítem	Materiales	Cantidades (unidades)
1	Led Solar Integrada S60 PRO NW / P29560	10
2	Led Solar Integrada S80 PRO 6K / P29561	33
3	Kit Solar Sylflood 80W 100p LI / P38154	10
4	Poste galvanizado en caliente 4m	3
5	Poste galvanizado en caliente 6m	6
6	Poste galvanizado en caliente 7m	7

Ítem	Materiales	Cantidades (unidades)
7	Poste galvanizado en caliente 8m	26
8	Poste galvanizado en caliente 9m	5
9	Crucetas de 3 x 1/4 X 2M Universal	3
10	Perno 5/8 x 14	5
11	Perno 5/8 x 8	5
12	Esparrago 5/8 x 6	10
13	Arandela cuadrada plana de 5/8	25
14	Collarín de una salida 6"	5
15	Diagonal varilla 5/8 x 0.68	10

Se tiene previsto para la realización de este proyecto una cuadrilla de 1 técnico electricista y 3 ayudantes, se estima que la correcta y total instalación de las luminarias en sus soportes se realizará en un lapso de 9 días, los primeros 2 días se realizarán las adecuaciones necesarias y en los 7 restantes las instalaciones de soportes y luminarias, manteniendo un rendimiento de aproximadamente 8 luminarias por día.

En la Tabla 25 se observa el presupuesto necesario para la ejecución de los sistemas de iluminación diseñados.

Tabla 28.

Presupuesto de inversión

Ítem	Materiales	Unidad	Valor unitario	Cantidades	Valor total
1	Led Solar Integrada S60 PRO NW / P29560	und	\$ 1.650.000	10	\$ 16.500.000
2	Led Solar Integrada S80 PRO 6K / P29561	und	\$ 2.250.000	33	\$ 74.250.000
3	Kit Solar Sylflood 80W 100p LI / P38154	und	\$ 8.400.000	10	\$ 84.000.000
4	Poste galvanizado en caliente 4m	und	\$ 570.000	3	\$ 1.710.000
5	Poste galvanizado en caliente 6m	und	\$ 855.000	6	\$ 5.130.000
6	Poste galvanizado en caliente 7m	und	\$ 997.500	7	\$ 6.982.500
7	Poste galvanizado en caliente 8m	und	\$ 1.140.000	26	\$ 29.640.000
8	Poste galvanizado en caliente 9m	und	\$ 1.282.500	5	\$ 6.412.500
9	Crucetas de 3 x 1/4 X 2M Universal	und	\$ 143.550	3	\$ 430.650
10	Perno 5/8 x 14	und	\$ 8.100	5	\$ 40.500
11	Perno 5/8 x 8	und	\$ 5.300	5	\$ 16.500
12	Esparrago 5/8 x 6	und	\$ 4.200	10	\$ 42.000

Ítem	Materiales	Unidad	Valor unitario	Cantidades	Valor total
13	Arandela cuadrada plana de 5/8	und	\$ 750	25	\$ 18.750
14	Collarín de una salida 6"	und	\$ 18.500	5	\$ 92.500
15	Diagonal varilla 5/8 x 0.68	und	\$ 12.200	10	\$ 122.000
16	Transporte	und	\$ 3.000.000	1	\$ 3.000.000
17	Herramientas menores	día	\$ 25.000	9	\$ 225.000
18	Técnico electricista	hr	\$ 8.341	72	\$ 600.552
19	Ayudante 1	hr	\$ 5.416	72	\$ 389.950
20	Ayudante 2	hr	\$ 5.416	72	\$ 389.950
21	Ayudante 3	hr	\$ 5.416	72	\$ 389.950
Costo total sin IVA					\$ 230.383.302
Administrativo				15%	\$ 34.557.495
Imprevistos				8%	\$ 18.430.664
Utilidad				5%	\$ 11.519.165
IVA sobre la utilidad				19%	\$ 2.188.641
Valor total del presupuesto					\$ 297.079.267

5. Conclusiones

En este trabajo de grado se encuentran las etapas del diseño de sistemas de iluminación en zonas comunes exteriores dentro del campus universitario de la Universidad Industrial de Santander. De acuerdo con el desarrollo de cada uno de los objetivos y los resultados obtenidos es importante concluir que:

Las zonas identificadas incumplen con los estándares requeridos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), esto se debe principalmente a la ausencia de sistemas de iluminación, mientras que en otros casos se encuentran obsoletos. En este trabajo de grado se comprobó mediante el uso de un equipo de medición el incumplimiento de los niveles mínimos de iluminación en cada una de las áreas.

Las luminarias LED solares tienen como ventaja ser independientes de la red eléctrica, por lo tanto, se garantiza la continuidad de iluminación en las zonas diseñadas hasta que la batería agote la totalidad de su carga, brindando así una mayor percepción de seguridad en las áreas de estudio. Además, el uso de luminarias todo en uno facilita la ubicación y montaje del sistema en áreas como el gimnasio al aire libre, que al ser una zona boscosa deja muy poco margen para los puntos de instalación.

El principal obstáculo en el desarrollo de los diseños de iluminación se presentó por la asimetría en el contorno y nivel de suelo de las zonas, como fue en el caso del Skate Park, este tipo de características impactan fuertemente el cálculo de iluminancia promedio y uniformidad, por esta razón la zona de Skate Park cuenta con el kit solar SYLFLOOD ya que al contar con una luminaria tipo reflector cuya curva fotométrica es cerrada o focalizada, permite obtener mejores ángulos de proyección y así iluminar eficientemente las zonas más críticas.

Se recomienda el uso de los modos de trabajo y control evaluados en la sección 4.4 de este documento, ya que las luminarias LED solares todo en uno al ser un módulo compacto con panel y batería, tienen una autonomía entre 4 y 6 horas al 100% de su capacidad lumínica. Por esto se busca dar uso eficiente de la energía almacenada en las baterías sin afectar las necesidades de la zona y sus niveles mínimos reglamentarios.

Referencias Bibliográficas

- Alfaro Herrera, C. A. (2018). Propuesta de prototipo de alumbrado inteligente y estudio lumínico en exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura, utilizando tecnología Light Emitting Diode (LED). <https://acortar.link/Tqf6qo>
- Ariza Riaño, M. F. y Gelves Ruiz, J. J. (2022). Diseño de un sistema de iluminación para fachadas y exteriores del edificio de ingeniería eléctrica de la UIS basado en energía solar FV. <https://acortar.link/F6n3wr>
- Barberá Santos, Daniel. (2011). Sistema generado fotovoltaico de alto rendimiento conectado a red. e-REdiNG. Máster en Electrónica, Tratamiento de Señal y Comunicaciones. <https://acortar.link/0dwoCQ>
- Cedeño, A. (2014). Capítulo 2. Sistemas de iluminación. <https://acortar.link/PZMPdv>
- Chamorro Carrasco, E.A. (2022). Elaborar una propuesta técnica y económica de iluminación fotovoltaica para una multicancha con iluminación tradicional. <https://acortar.link/CejhII>
- Chuquizuta Ventura, A. R. (2020). Diseño de un sistema de iluminación LED con paneles solares para la plataforma de estacionamiento de aeronaves, Talara, 2019. <https://acortar.link/UmEIS2>
- Díaz Corcobado, T. y Carmona Rubio, G. (2018). Capítulo 1. Componentes de una instalación solar fotovoltaica del libro Instalaciones solares fotovoltaicas. McGraw-Hill Education. <https://acortar.link/WM72fU>
- Gandur Adarme, S. Y. (2016). Implementación de sistema de gestión en la empresa Proyectos y Servicios Ltda. Práctica Académica. Universidad Autónoma de Bucaramanga. <https://acortar.link/vXC6pk>

- Jiménez Zea, L. A. (2018). Diseño de un sistema de iluminación eléctrico para las terrazas verdes del edificio de Ingeniería Eléctrica.
- Malpartida Correa, A., & Fuentes, O. (2022). Iluminación fotovoltaica en plazas y parques del puerto de ILO. *Revista Ciencia y Tecnología-para el desarrollo - UJCM*, 5(1), 123-134. <https://acortar.link/g7oy1f>
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). Anexo General. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP.
- Montalvo Ureta, D. (2016). Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico. Guayaquil-Ecuador. <https://acortar.link/1X7XKb>
- Pérez Zulueta, J. A. (2019). Diseño de un Sistema de Iluminación Fotovoltaico Mediante Tecnología Led para el Parque Central de la Provincia De Jaén–Cajamarca. Tesis de trabajo de grado. <https://acortar.link/ixNDwx>
- Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética en Centroamérica. (2018). Luminarias LED contribuyen hasta en un 60% de reducción en consumo eléctrico. <https://acortar.link/OgcTwj>
- Sandoval, J. D. (2006). Capítulo 10. Iluminación de Espacios Exteriores Privados. Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente. Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. - Secretaría de Ciencia y Tecnología y ELI (Efficient Lighting Initiative) ARGENTINA del libro de Camporeale, P. y Dutt, G. <https://acortar.link/tlrewr>
- Sylvania. (2021). Guía Técnica de iluminación. Investigación & Desarrollo. <https://acortar.link/4oCI9I>

Solar Energy International. (2015). FOTOVOLTAICA. Manual de diseño e instalación. Una panorámica de la energía fotovoltaica. Educación en energía renovable para un futuro sostenible. <https://acortar.link/s0Hszk>

UPME. (2023). Informe de avance proyectos de generación – Julio 2023. Subdirección de energía eléctrica – grupo de generación. <https://cutt.ly/xwbcNNEU>

Vergara-Barrios, P. P., Rey-López, J. M., Osma-Pinto, G. A., & Ordóñez-Plata, G. (2014). Evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 13(2), 49-57. <https://acortar.link/rVMfwy>