



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
PARA LA ILUMINACIÓN DE UNA CANCHA DEPORTIVA DE LA
COMUNIDAD DE PUNTAHACIENDA DE QUINGEO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICO**

AUTOR: SIGUENCIA CARDENAS MIGUEL SALVADOR

SALTO CHICAIZA SANTIAGO ANDRES

DIRECTOR: ING. DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ, MGS.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIAL Y CONSTRUCCIÓN**
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE UNA
CANCHA DEPORTIVA DE LA COMUNIDAD DE
PUNTAHACIENDA DE QUINGEO**

**PROYECTO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: SIGUENCIA CARDENAS MIGUEL SALVADOR

SALTO CHICAIZA SANTIAGO ANDRES

DIRECTOR: ING. DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ, MGS.

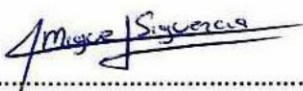
MATRIZ CUENCA

2023

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Miguel Salvador Sigüencia Cárdenas y Santiago Andrés Salto Chicaiza portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0105913461** y **0105954507**. Declaramos ser autores de la obra: **“MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE UNA CANCHA DEPORTIVA DE LA COMUNIDAD DE PUNTAHACIENDA DE QUINGEO”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **18 de abril de 2023**

F: 
Miguel Salvador Sigüencia Cárdenas
0105913461

F: 
Santiago Andrés Salto Chicaiza
0105954507

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Siguenca Cárdenas Miguel Salvador y Salto Chicaiza Santiago Andrés, bajo mi supervisión.



Ing. Daniel Icaza Álvarez MsC.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico a Dios, esta tesis por permitirme llegar a esta etapa de mis estudios, por todas las victorias y caídas que he tenido a lo largo de mi vida ya que cada una de ellas me han enseñado a no rendirme. A mis padres por ser las personas que me han acompañado y apoyado durante toda mi trayectoria estudiantil. A mis docentes ya que, gracias a su tiempo y a su apoyo, supieron transmitir el desarrollo de mi formación profesional.

Siguencia Cárdenas Miguel Salvador

Dedicado principalmente a mis padres Rosa y José quienes siempre me han dado todo su cariño y apoyo incondicional, quiero dedicar de manera muy especial a mi querida abuelita Neria Dolores quien fue y será mi Mami Lolita yo sé que desde el cielo me cuida y sé que estará orgullosa de este logro obtenido.

Salto Chicaiza Santiago Andrés

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por haberme dado la fuerza necesaria y la dedicación para culminar este proyecto. A mis padres gracias por la confianza y el apoyo brindado, ustedes han sido el pilar fundamental para poder estar culminando con mi carrera universitaria. A mis hermanos que me han indicado y apoyado en todo este transcurso de mi vida. Al Ing. Daniel Icaza, director de tesis, por su valiosa guía para poder llegar con la culminación de la presente investigación. A la gente de la Comunidad de Puntahacienda por confiar en nuestro trabajo y creyeron en la capacidad de nuestros conocimientos para poderles brindar un servicio tan innovador.

Siguencia Cárdenas Miguel Salvador

Agradezco a Dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa. Con mucho cariño principalmente a mis padres Rosa y José que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento.

Gracias por toda mamá por darme oportunidades para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado ratos de discusión siempre has estado apoyándome y brindándome todo su amor.

A mis hermanos Isabel, Cristian, Alejandro, Juan, José gracias por estar conmigo en todo momento

A mi esposa Diana que me ha conducido en esta aventura, quien siempre me ha apoyado y ha creído sólidamente en mí, a pesar de las dificultades siempre estuvo y está alentándome a seguir avanzando.

A mi tutor por tener la paciencia necesaria y proporcionar los materiales e instrumentos que necesitaba para poder realizar este trabajo correctamente sin ningún percance.

Salto Chicaiza Santiago Andrés

RESUMEN

Este estudio presenta un enfoque para diseñar la iluminación en una cancha de vóley utilizando energía fotovoltaica para alcanzar una energía neta cero. Se obtuvo un método de verificación a través de un estudio de caso en cinco canchas cercanas a la parroquia de Quingeo del Cantón Cuenca. El análisis realizado en el área de prueba es útil para confirmar las restricciones de diseño con el apoyo del software Dialux. Sin embargo, los rendimientos esperados pueden diferir de los reales como la calidad de la luz, el control de los flujos de luz y otros parámetros de confort que son críticos y difíciles de prevenir sin la realización de diseños. Para ello se requiere un flujo luminoso total de 86.419 lúmenes para iluminar 162 metros cuadrados pertenecientes al área de la cancha, para ello se necesitó de cuatro reflectores de 14.000 lúmenes, con potencia de 200 W estos fueron ubicados dos a cada lado, con este método pudimos lograr un ahorro de 179 kWh por mes y 2148 kWh por año, lo que significa un costo económico de \$193.32 dólares, de esta manera se presentan los resultados de potencia según el potencial energético disponible en el sitio y la demanda del sistema de iluminación.

Palabras clave: energías renovables, DIALux, iluminación, paneles solares.

ABSTRACT

This study presents an option to design the lighting system in a volleyball court using photovoltaic energy to achieve net zero energy. A verification method was obtained through a case study in five courts near the parish of Quingeo, Canton Cuenca. The analysis performed in the test area helps confirm the design constraints with the support of DIALux software. However, the expected performances may differ from the real ones, such as light quality, control of light fluxes, and other critical comfort parameters that are difficult to prevent without the implementation of this design. For this, a total luminous flux of 86,419 lumens is required to illuminate 162 square meters belonging to the area of the court. In order to achieve this, four reflectors of 14,000 lumens were needed, with a power of 200 W, which were placed two on each side. In conclusion, with this method, savings of 179 kWh per month and 2148 kWh per year were achieved, which means an economic cost of 193.32 dollars. This way, the power results are presented according to the energy potential available at the site and the demand of the lighting system.

Keywords: renewable energies, DIALux, lighting, solar panels.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	3
CERTIFICACIÓN	4
AGRADECIMIENTOS	5
DEDICATORIA	5
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	9
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABLAS	14
LISTA DE ANEXOS	15
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPITULO 1	17
1. INTRODUCCION	17
1.1. Objetivos	17
1.1.1. Objetivo general	17
1.1.2. Objetivos específicos	17
1.2 Alcance	17
1.3 Justificación	17
1.4 Metodología	18
1.4.1. Estudio semanal de cada estación del año	19
1.4.2. Identificación de reflectores y paneles solares	21
1.4.3. Cálculos y simulaciones para implementar el sistema de abastecimiento de energía fotovoltaica	24
CAPITULO 2	26
2. ANTECEDENTES	26
2.1. Descripción general de la metodología	26
2.2. Descripción del estudio de caso	27
2.3. Concepto de una red comunitaria de carga de lámparas con energía solar	27
2.4. Caracterización espaciotemporal del potencial de la energía solar.....	28
2.5. Formulación del problema de optimización	29
2.6. Las energías renovables como elemento de lucha contra el cambio climático	30
2.7. Los recursos energéticos distribuidos para la planificación de sistemas eléctricos 100% renovables.....	31
2.8. Requisitos generales de iluminación para canchas deportivas.....	31

2.9. Despliegue óptimo con la restricción NZE y la restricción de potencia de exportación máxima	32
2.10. Trabajos previos y revisión del estado del arte	37
CAPITULO 3	41
3. RESULTADOS	41
3.1. Esquema del sistema fotovoltaico	41
3.3. Instalación de los equipos	42
3.3.1. Instalación del panel solar	42
3.3.2. Instalación del controlador	42
3.3.3. Instalación del inversor	43
3.3.4. Instalación de la batería	44
3.4. Resultados de la iluminación en el sitio	44
CAPITULO 4	46
4. DISCUSIÓN	46
4.1. Comunidad 1	46
4.2. Comunidad 2	46
4.3. Comunidad 3	46
4.4. Comunidad 4	47
4.5. Comunidad 5	47
CAPITULO 5	48
5. Modelado matemático	48
5.1. Optimizador a nivel de red y función objetivo	48
5.2. Ahorro de costos para comprar electricidad de la red para la carga de reflectores	48
5.3. Ingresos de venta para exportar el exceso de energía solar a la red	48
5.4. Restricción de potencia de generación máxima	49
5.5. Optimizador de nivel y función objetivo	49
5.6. Modelado de sistema del sistema de iluminación alimentado por energía solar	50
CAPITULO 6	53
6. MODELADO Y SIMULACIÓN	53
6.1. Requisitos generales para la iluminación de la cancha de vóley	53
6.2. Potenciales de energía solar en los techos de las comunidades vecinas	53
6.3. Verificación del enfoque GA-ILP	57
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
anexos	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grafica conceptual del método. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).	18
Figura 2. Estudio diario de la iluminación, Variables eléctricas. Fuente: (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).	19
Figura 3. Estudio diario de la iluminación: nivel de iluminación. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	20
Figura 4. Periodos de verano e invierno Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	20
Figura 5. Características I-V simuladas del módulo fotovoltaico. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).	21
Figura 6 Características I-V simuladas del módulo fotovoltaico a diferentes niveles de irradiación. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).	21
Figura 7 Características FV simuladas del módulo a temperaturas de operación variadas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).	22
Figura 8 Características FV simuladas del módulo a diferentes niveles de irradiación. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	22
Figura 9 (A)Reflector a ocupar, (B) diagrama fotométrico. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	23
Figura 10 Reproducción de color real y reproducción de color falso. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	24
Figura 18 Ilustración del despliegue óptimo de energía fotovoltaica y batería distribuidas en los techos para lograr una energía neta en la carga de las lámparas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).	26
Figura 19 Comunidad de Puntahacienda. Fuente(Google Maps, s. f.).	27
Figura 20. Esquema del sistema eléctrico en estudio que incluyen lámparas con energía solar. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	28
Figura 21 Esquema del enfoque GA-ILP. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).	29
<i>Figura 22. Generación anual óptima de energía solar de la comunidad. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor)</i>	33
Figura 23 Capacidades óptimas de batería de todas las terminales sin el límite de potencia hacia la red eléctrica, con el límite de 5000 W y con el límite de 2000 W. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	33
Figura 24 Planes de instalación fotovoltaica de la comunidad 1 y 4 sin el límite de potencia fotovoltaica, con el límite de 5000W y con el límite de 2000W. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	34
Figura 25 Descomposición de la potencia de exportación y el SOC de la batería de cada comunidad el día y el día anterior a cuando se produjo el pico de potencia de exportación. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	36
Figura 11. Esquema del sistema fotovoltaico Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	41
Figura 12 Cancha a iluminar. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	42
Figura 13 Panel fotovoltaico de 100W. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	42
Figura 14 Controlador MPPT120D. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	43

Figura 15 Inversor Modified Sine Wave Inverter. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).....	43
Figura 16 Batería VRLA BATTERY de 12V y 100Ah. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).....	44
Figura 17 funcionamiento de las luminarias. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	45
Figura 26 Sistema propuesto. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).....	53
Figura 27 Muestra de potenciales de energía solar en las azoteas de las comunidades aledañas a las canchas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).....	53
Figura 28 Variaciones de precios unitarios de energía solar en cinco comunidades cuando cambian la generación anual de la energía solar. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	54
Figura 29. a) Ubicación de las canchas, (b,c,d,e,f) contornos y alturas de la edificación en las comunidades. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).....	55
Figura 30. Datos meteorológicos típicos del año y demanda energética diaria para la carga de las lámparas: Irradiación solar horizontal. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor	56
Figura 31.Demanda de energía diaria para la carga de las lámparas en cada comunidad. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	57
Figura 32 Datos meteorológicos típicos del año y demanda energética diaria para la carga de las lámparas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).....	57
Figura 33 Planos de instalación fotovoltaica de las comunidades 1 y 5 del caso óptimo y el caso fotovoltaico desasignado. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).	58
Figura 34 Energía solar, energía de carga de reflectores, intercambio de red y SOC de batería de la comunidad 2 durante una semana de verano en el caso óptimo y el caso de batería mal asignada. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).....	59
Figura 35 Energía solar, energía de carga de reflectores, intercambio de red y SOC de batería de la comunidad 5 durante una semana de invierno en el caso óptimo y el caso de batería mal asignada. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fotométricos. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía de Recursos Naturales No Renovables.....	32
Tabla 2. Resumen de rendimiento de los casos óptimos con y sin límite de potencia hacia la red eléctrica. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía de Recursos Naturales No Renovables.....	32

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A IMAGENES DEL SOFTWARE DIALUX.....	66
ANEXO B IMAGENES DE LA IMPLEMENTACION.....	67
ANEXO C IMAGENES DE LA ILUMINACION OBTENIDA.....	68

INTRODUCCIÓN

La principal característica de las energías renovables es que se generan sin causar daños significativos al medio ambiente y sin agotar los recursos naturales (Campisi et al., 2018). Son muchas las posibilidades para el ahorro energético en la iluminación de canchas deportivas, ya que los cambios pueden permitir reducciones de más del 50% en el consumo eléctrico. La modernización de los sistemas de iluminación es una práctica para disminuir significativamente la adquisición de energía y mejorar la calidad visual; una de las medidas más comunes es reemplazar las fuentes de luz con lámparas más eficientes, como las lámparas de diodos emisores de luz (LED) ya que esta fuente de energía es una solución rentable y satisfactoria por su bajo consumo energético, larga vida útil y reducidos costes de inversión y mantenimiento, además de tener un menor impacto medioambiental (Lobão et al., 2015).

Las fuentes de energía renovables se consideran importantes para satisfacer la demanda energética, además de poder reemplazar las fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles, que son ampliamente utilizados en la actualidad. El país cuenta con ubicaciones privilegiadas con gran potencial de recursos renovables y cuenta con el apoyo del gobierno ecuatoriano para implementar proyectos de energía limpia (Beccali et al., 2018).

El alumbrado público para canchas deportivas, es muy importante para el panorama nocturno urbano porque tiene el potencial de mejorar la apariencia de su entorno y ayuda a aumentar el atractivo del lugar. Un sistema de iluminación bien diseñado puede asegurar un adecuado nivel de confort y facilitar el uso del espacio de una manera segura, lo que mejora la calidad de vida de los ciudadanos y evita la sobre iluminación y la contaminación lumínica (Castro et al., 2013).

Hoy en día la electricidad es un servicio necesario para todos y se utiliza para diferentes usos. Actualmente, gracias a la tecnología, se han ido implementando otro tipo de energías como lo son los paneles solares para generar un tipo de energía renovable, siendo una alternativa eficiente sin dañar el medio ambiente. Por esa razón, se considera la posibilidad de implementar este sistema para que las personas se beneficien del mismo (Saldaña Fajardo & Brito Ávila, 2021).

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Realizar un modelo matemático y de simulación para la implementación de reflectores con paneles fotovoltaicos para la iluminación de la cancha deportiva de la comunidad de Puntahacienda de la parroquia Quingeo del Cantón Cuenca, Provincia del Azuay.

1.1.2. Objetivos específicos

- Levantamiento de requerimientos energéticos mediante visita in situ y atlas solar del Ecuador para la estimación de la capacidad a instalar, para la cancha deportiva.
- Realizar un análisis a las estaciones del año (verano e invierno) para examinar su radiación en esos periodos del año para así determinar la potencia generada que abastecerá el sistema de iluminación de la cancha deportiva.
- Identificar los reflectores y los paneles fotovoltaicos más adecuados para la implementación en la cancha en estudio, por medio de cotizaciones, características y fiabilidad en la instalación.
- Realizar cálculos y simulaciones para implementar el sistema de abastecimiento de energía fotovoltaica para la iluminación de la cancha deportiva de la Comunidad de Puntahacienda de Quingeo.

1.2 Alcance

Este proyecto, tiene como objetivo el desarrollo de un sistema fotovoltaico en la comunidad de Puntahacienda perteneciente a la parroquia de Quingeo del cantón Cuenca de la Provincia del Azuay, teniendo que realizar la implementación de luminarias con energía fotovoltaica, con la finalidad de iluminar una cancha de vóley.

Para las decisiones de modelación y simulación se tomará como referencia el estudio realizado con anterioridad a cinco comunidades con el propósito de brindar un mejor servicio a sus habitantes.

1.3 Justificación

Hoy en día es necesario utilizar energías renovables por una parte por el beneficio económico que representa su uso y por otro para ayudar al medioambiente; en la presente investigación se propone la implementación de reflectores con paneles solares para la cancha de vóley de la comunidad de Puntahacienda de la parroquia Quingeo. Para el diseño e

implementación que se propone se realizará un modelado matemático con la ayuda de softwares especializados como el Matlab y Dialux en los cuales se realizarán las simulaciones para posteriormente llevarlas a la práctica.

Al demostrar el correcto funcionamiento de este sistema de iluminación mediante sistemas solares fotovoltaicos es posible coger esta experiencia y replicarlo en otras comunidades de la parroquia Quingeo. En este sentido, se ha aprovechado de la cartografía disponible para evaluar el potencial solar fotovoltaico en estos sitios.

1.4 Metodología

Este es un estudio de carácter cuantitativo descriptivo que se basa en:

La recolección de información del potencial energético aprovechable para iluminar la cancha de vóley. Es esencial recopilar detalles sobre la infraestructura actual los tipos de fuentes de iluminación. Además, se debe realizar una investigación de medición para obtener información sobre la iluminancia, luminancia, potencia y voltaje absorbidos estas mediciones pueden proporcionar un informe sobre el rendimiento de la infraestructura de la calidad de la luz y del consumo de energía del caso de referencia. A partir de esto se puede desarrollar una hipótesis de diseño inicial, que debe ser respaldada por cálculos y simulaciones para verificar si los parámetros de iluminación son adecuados y si el diseño es sostenible. De lo contrario, es necesario repetir el proceso de diseño, cambiando la estrategia y tomando decisiones diferentes (Beccali et al., 2019).

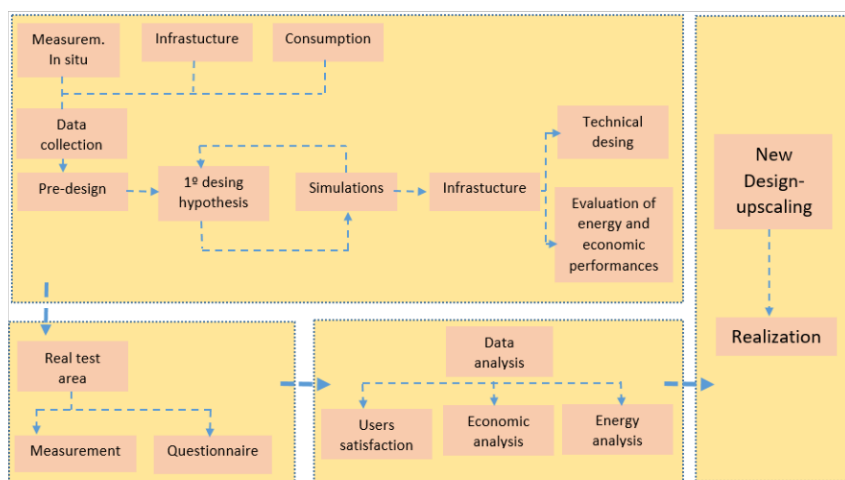


Figura 1. Grafica conceptual del método. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

La grafica describe el desarrollo de la metodología, en la primera sección hace referencia a la recolección de pruebas con base de datos para poder realizar cálculos y simulaciones; el segundo recuadro nos describe las pruebas in situ que demostrará el área de la cancha para determinar cuánta luminosidad necesita el sitio; el tercer recuadro se describe los análisis de satisfacción así los usuarios que son beneficiarios a la cancha, los costos y la ayuda al medio

ambiente y el cuarto recuadro describe la realización del trabajo con base a todos los datos obtenidos y revisados para su correcta funcionalidad.

1.4.1. Estudio semanal de cada estación del año

Se realizó un estudio con el fin de comparar las diferentes estaciones del año y su influencia en el ahorro energético conseguido, la temporada del año influye decisivamente en el número de horas de luz y, por extensión, sobre el número de horas de funcionamiento del sistema de la luz de la cancha (Figura 2 y 3).

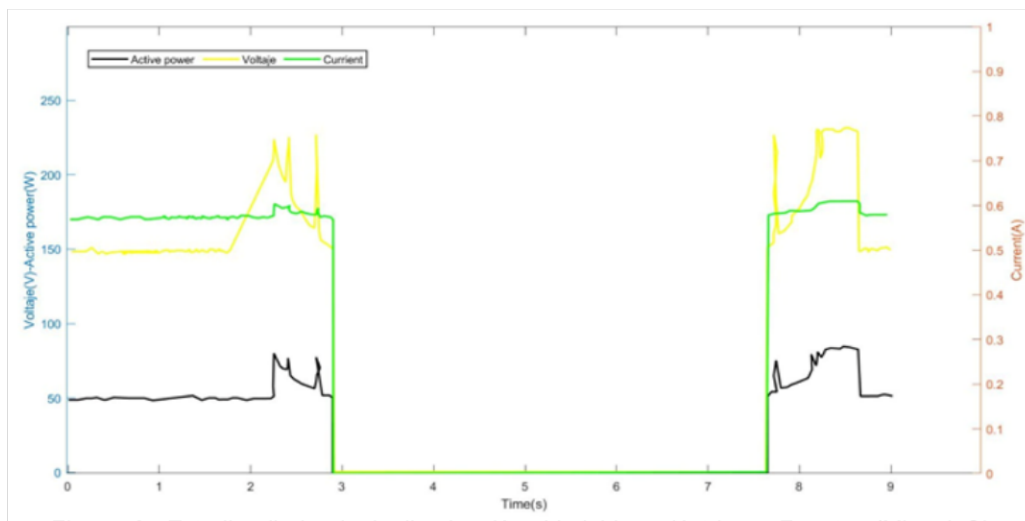


Figura 2. Estudio diario de la iluminación, Variables eléctricas. Fuente: (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

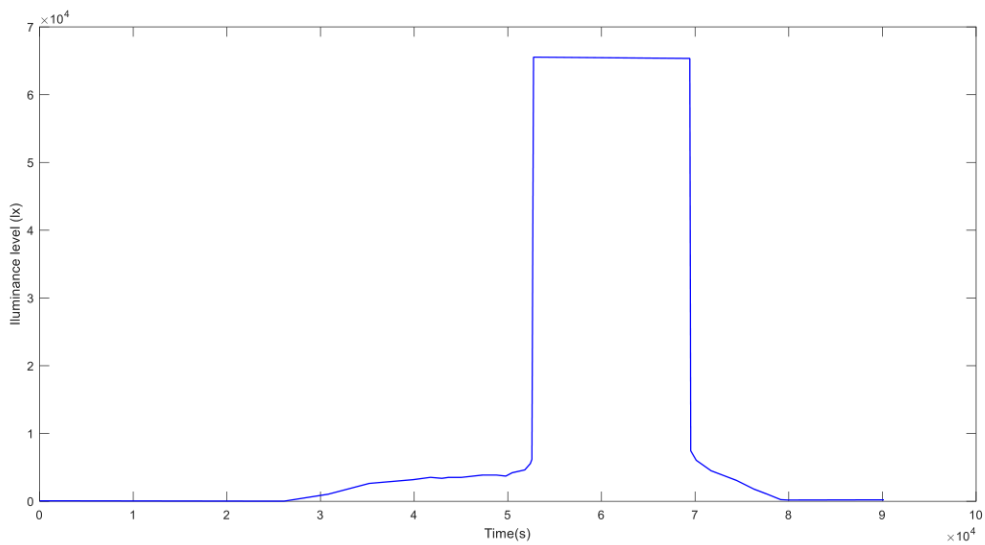


Figura 3. Estudio diario de la iluminación: nivel de iluminación. Fuente (Miguel Sigüencia, Santiago Salto, Autor).

En la figura 4 se muestran los resultados de las dos estaciones (verano e invierno), podemos concluir que la energía y el ahorro es mayor en verano porque hay más horas de luz diurna que influyen directamente en el tiempo de iluminación para la cancha.

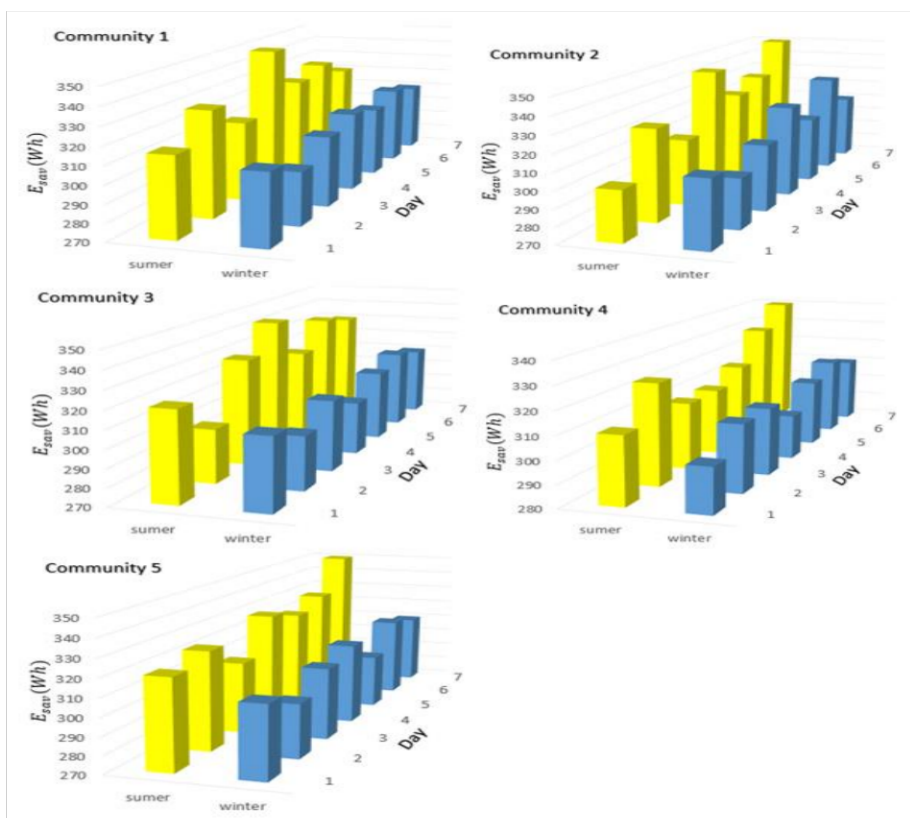


Figura 4. Periodos de verano e invierno Fuente (Miguel Sigüencia, Santiago Salto, Autor).

1.4.2. Identificación de reflectores y paneles solares

1.4.2.1. PV mono cristalino de 25W

Este tipo de panel contiene células mono cristalinas de la serie 32, se prueba para simular los datos medidos, este componente se aplicará para simular en la comunidad, con variación de temperatura e irradiación.

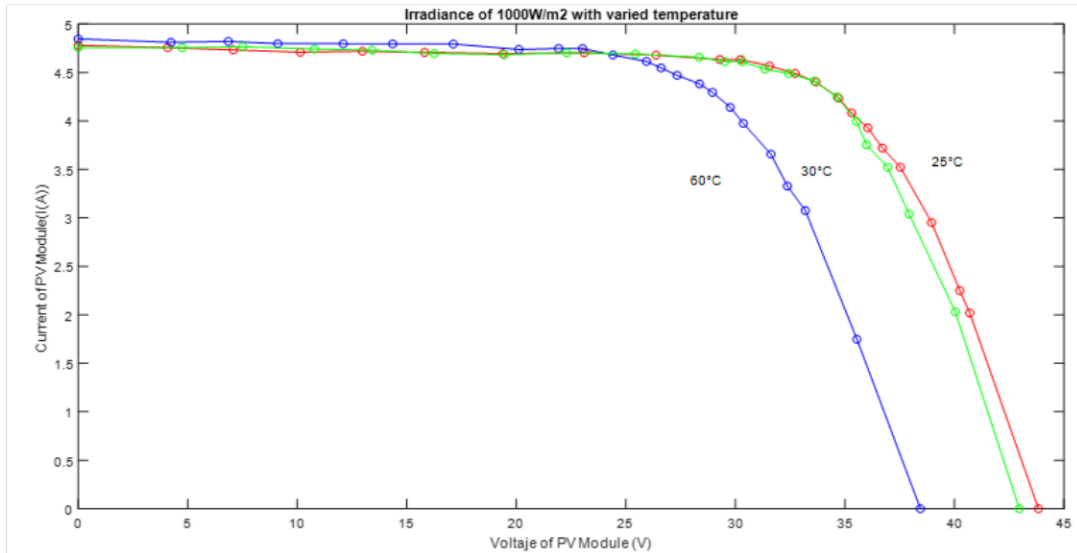


Figura 5. Características I-V simuladas del módulo fotovoltaico. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

La figura 5 refleja la curva I-V tanto para los valores simulados, se implementa para el panel a diferentes temperaturas de funcionamiento de 25, 30, 60 °C con nivel de irradiancia constante de 1000 W/m².

En segundo lugar, se implementa el panel a diferentes niveles de irradiancia de 200, 400, 600, 800 y 1000 W/m² con una temperatura de funcionamiento constante de 25 C.

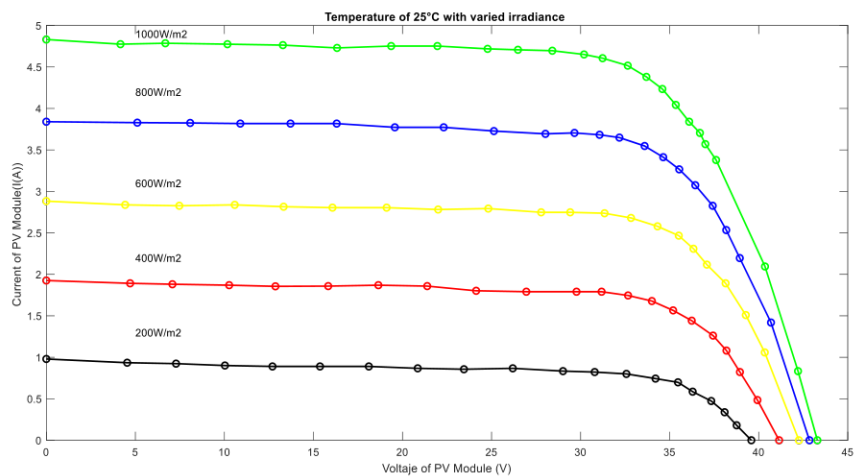


Figura 6 Características I-V simuladas del módulo fotovoltaico a diferentes niveles de irradiancia. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

La figura 6 muestra la Curva I-V para los valores experimentados y simulados; como se puede apreciar existe una gran coincidencia entre las curvas I-V virtual y experimental que muestra el alto potencial. Los voltajes disminuyen cuando los valores de temperatura muestran calor por otro lado, las corrientes son muy intensificadas por el aumentando los valores de irradiación.

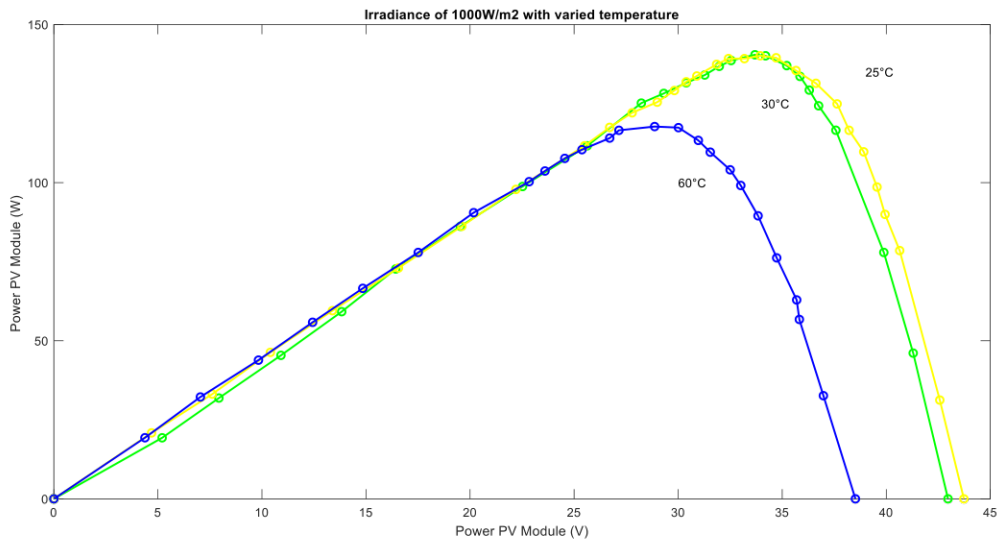


Figura 7 Características FV simuladas del módulo a temperaturas de operación variadas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

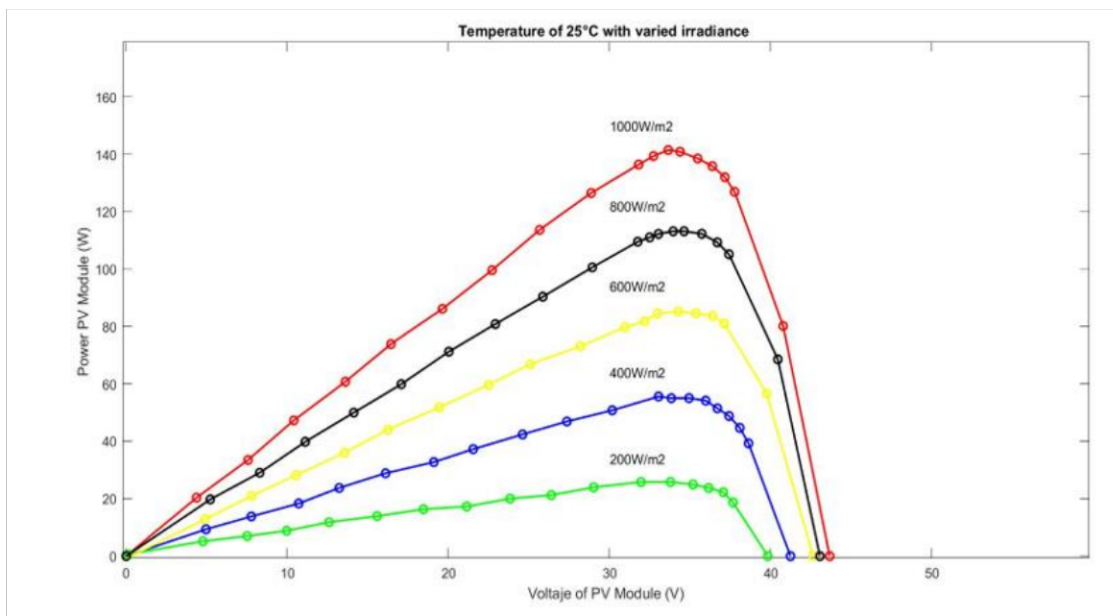


Figura 8 Características FV simuladas del módulo a diferentes niveles de irradiación. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Las figuras 7 y 8 describen la temperatura a un nivel de irradiación constante de 1000 W/m^2 y la figura 8 para diferentes niveles de irradiación a funcionamiento constante de la temperatura. Como se muestra, los valores de potencia están muy ampliados cuando los

valores de irradiación aumentan de 200, 400, 600, 800 y 1000 W/m², mientras que el valor de la temperatura es constante en 25 °C.

1.4.2.2. Reflector LED de 200 W

Este reflector es ideal para el uso en exteriores ya que es resistente a las condiciones climáticas cambiantes (IP 65) y es funcional. Se llevó a cabo el diseño de la iluminación de la cancha, mediante los resultados podemos saber la cantidad y la ubicación de los postes adecuados a ocupar, las lámparas a ocuparse serán LED de 200 W (como se muestran en la figura 9).

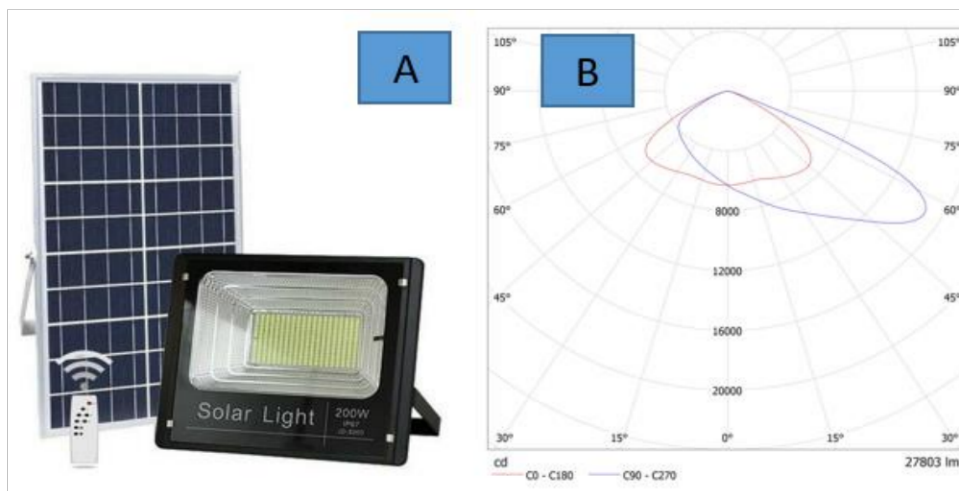


Figura 9 (A) Reflector a ocupar, (B) diagrama fotométrico. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

El diagrama fotométrico representa una curva que es una representación gráfica del comportamiento de la luz, ésta tiene diferentes características relacionadas con la naturaleza de la fuente de luz, el tipo de reflector, la óptica o el diseño de la luminaria.

El factor de potencia del LED es $\geq 0,92$; en cuanto al sistema de iluminación tiene una temperatura de color de 6500 K, un índice de reproducción cromática de 70, puede instalarse con un ángulo de inclinación de 180° y un flujo luminoso de 14.000 lm. La selección de las luminarias se apoya en unas simulaciones de iluminación utilizando el software Dialux (Figura 10).

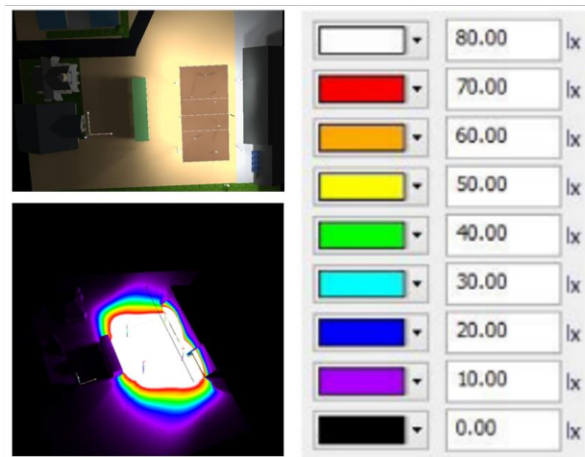


Figura 10 Reproducción de color real y reproducción de color falso. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

La figura 10 representa la imagen de color falso, estos representan un color diferente del color verdadero. En esta imagen, los colores están asignados a tres longitudes de onda diferentes a lo que nuestros ojos normalmente no pueden ver.

1.4.3. Cálculos y simulaciones para implementar el sistema de abastecimiento de energía fotovoltaica

1.4.3.1. Cálculo de consumo de kWh

Para realizar un cálculo preciso del consumo de energía considerando la reducción del flujo luminoso durante la noche, se requiere un análisis energético preciso. El porcentaje de atenuación de las lámparas no es uniforme en todas las áreas ni en todo momento. Para estimar la energía eléctrica utilizada por las fuentes de luz en las que se efectúa la regulación, es posible calcular las horas equivalentes de funcionamiento. Teniendo en cuenta el número de horas diarias en que el sistema de iluminación opera con potencia reducida y el total de horas de operación anuales, se puede estimar tanto las horas de funcionamiento a plena potencia como las horas de funcionamiento a potencia reducida de la energía eléctrica utilizada en un año (Beccali et al., 2019).

$$\text{consumo} = \frac{\text{potencia} * \text{tiempo} * (30 \text{ dias})}{1000}$$

$$\text{consumo} = \frac{(800w) * (5h) * (30)}{1000} = 120Kwh/mes$$

Donde:

- Potencia total 800W por la suma de 4 reflectores solares de 200W
- Tiempo de uso 5h/día

1.4.3.2. Cálculo para determinar el número de paneles solares requeridos

$$Np = \frac{\frac{\text{consumo energético diario}}{\text{horas solar pico}} * \text{eficiencia}}{\text{potencial del panel solar}}$$

$$Np = \frac{\frac{4KWh}{5h} * (0.8)}{0.25KW} = 3 \text{ paneles solares}$$

Dónde:

- Consumo energético diario será de $800W (5h / 1000) = 4 kWh$
- Hora solar pico se tomará 5 horas
- Eficiencia del 80%
- Potencia de panel solar $25 W = 0.25KW$

1.4.3.3. Diseño en DIALUX

Para el desarrollo de la práctica se usa el software DIALUX, una vez que se ha logrado un buen diseño se puede consolidar y desarrollar técnicamente mediante la previsión del consumo energético y económico de la zona de prueba. En cuanto al análisis económico, es necesario calcular los costos de inversión. Este análisis se puede realizar considerando diferentes escenarios, como sistemas de control de atenuación o diferentes horarios de funcionamiento. Estos análisis se llevan a cabo en un espacio seleccionado que es representativo de toda la zona y tiene características similares. Se deben recopilar datos como las horas de funcionamiento, consumo de energía, energía ahorrada y ahorro económico en la nueva zona de prueba.

CAPITULO 2

2. ANTECEDENTES

2.1. Descripción general de la metodología

La gráfica 11 muestra la estrategia general para el desarrollo del presente proyecto para el análisis de la producción de la energía eléctrica aprovechando la energía solar fotovoltaica con respaldo de baterías.

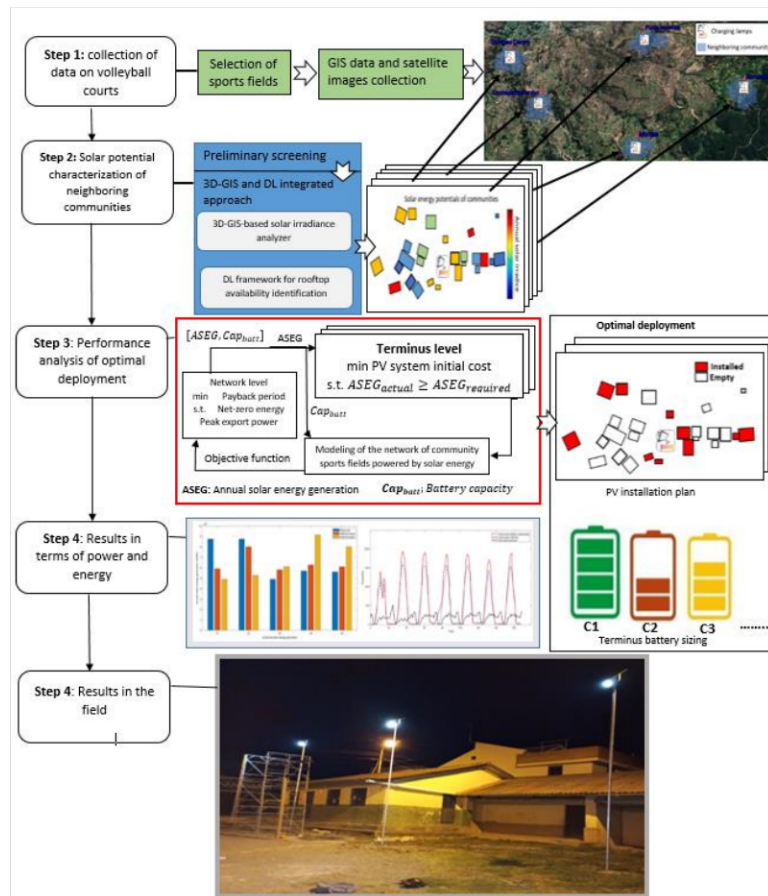


Figura 11 Ilustración del despliegue óptimo de energía fotovoltaica y batería distribuidas en los techos para lograr una energía neta en la carga de las lámparas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

En el Paso 1, la información sobre las canchas deportivas, dicha información será utilizada para modelado de la carga de lámparas en el paso 3. Mientras tanto, los datos GIS e imágenes satelitales de las comunidades alrededor de las canchas deportivas serán colectadas para la energía solar espaciotemporal caracterización potencial en el Paso 2 (Ren, Xu, et al., 2022).

En el Paso 2, los potenciales de energía solar de las comunidades vecinas alrededor de las canchas se caracterizarán para facilitar la óptima planificación de los sistemas fotovoltaicos distribuidos en los techos en el paso 3. La caracterización del potencial espacio temporal de la energía solar incluye dos sub pasos:

1) evaluación preliminar basada en imágenes satelitales para excluir la construcción de los techos que no están disponibles para el despliegue de energía solar fotovoltaica.

2) energía solar precisa, caracterización de potencial utilizando un enfoque integrado de 3D-GIS y aprendizaje profundo.

En el Paso 3, el despliegue óptimo de la energía fotovoltaica distribuida en los techos y la batería de la comunidad con energía solar, la red de las lámparas se determinará a través de un algoritmo genético-entero, enfoque de programación lineal (GA-ILP). El despliegue óptimo será proporcionar el plan de instalación óptimo del sistema fotovoltaico distribuido en los techos de la comunidad vecina alrededor de cada cancha, y el tamaño óptimo de la batería.

En el Paso 4, se muestra los resultados de potencia y energía. La eficacia de la estrategia de implementación óptima se verificará comparando la implementación optimizada con una gran cantidad de soluciones. Los problemas de diseño se identificarán a través de la comparación.

En el paso 5, se observarán los resultados en campo para determinar si la estrategia desarrollada cumple con la restricción.

2.2. Descripción del estudio de caso

El método propuesto se aplica en un caso de estudio real, este está ubicado en la comunidad de Puntahacienda de la parroquia de Quingeo del cantón Cuenca. El lugar cuenta con calles, caminos peatonales y casas. Se recopiló una gran cantidad de datos por medio de un sistema de monitoreo instalado en el área de prueba.



Figura 12 Comunidad de Puntahacienda. Fuente(Google Maps, s. f.).

2.3. Concepto de una red comunitaria de carga de lámparas con energía solar

La figura 13 representa dos comunidades que utilizan energía solar para abastecer su sistema eléctrico, las dos comunidades están integradas en la red para la demostración

ilustrativa. Para suministrar energía a los reflectores, el sistema fotovoltaico instalado en el techo de las comunidades alimenta la energía solar a la cancha deportiva respectiva.

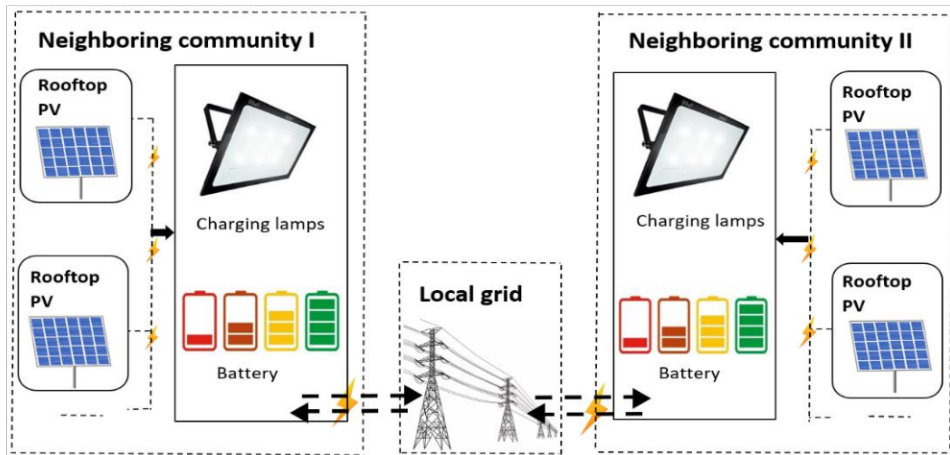


Figura 13. Esquema del sistema eléctrico en estudio que incluyen lámparas con energía solar. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

En cada comunidad se ha incorporado baterías para acumular el excedente de energía solar y así poder cargar los reflectores en caso de que la generación de energía solar sea insuficiente. La batería nos ayuda a igualar la cantidad de energía producida por la energía solar y la demanda de carga de las lámparas. Cuando la batería está llena, aquí se considera que el exceso de energía solar se puede inyectar a la red local (situación que en la práctica aún debe legislarse y técnicamente aún no es posible) pero es lo adecuado y se plantea en el presente proyecto.

Por otra parte, se puede observar que en las comunidades de las canchas se puede adquirir energía de la red para cubrir la demanda de carga de las lámparas en caso de que la batería y la energía solar no sean suficientes para cubrir la demanda de carga (Ren, Ma, et al., 2022).

2.4. Caracterización espaciotemporal del potencial de la energía solar

El enfoque integrado 3D-GIS y DL es un analizador de irradiación solar basado en 3D-GIS y un Marco DL para la identificación de la disponibilidad del techo a ocupar. basado en 3D-GIS analizador de irradiación solar evalúa la irradiación solar en la construcción tejados teniendo en cuenta los efectos dinámicos de sombreado de edificios basados en la construcción contornos y alturas extraídos de los datos 3D-GIS. El marco DL para la identificación de la disponibilidad del techo utiliza la doble U-Net para identificar obstáculos en los tejados y luego excluirlos del total de las áreas de la azotea que se extraen de los datos GIS (Ren, Xu, et al., 2022).

2.5. Formulación del problema de optimización

Se desarrolla un enfoque con Algoritmo Genético de Programación Lineal Entera (En inglés, GA-ILP) para resolver el despliegue óptimo para el problema de la energía fotovoltaica distribuida en los techos y la batería para la red comunitaria de canchas deportivas alimentadas con energía solar. En este estudio, el tiempo de restablecimiento del sistema solar distribuidos en los techos y las baterías es adoptada como la función objetivo. Para abordar la alta dimensionalidad en el problema de planificación óptima del plan de instalación de PV y la no linealidad en el problema de dimensionamiento de PV y batería, el GA-ILP se formula como un enfoque de dos niveles (es decir, nivel de red y nivel solar), como está presentado en la figura 14. El problema de alta dimensionalidad y el problema de no linealidad se pueden desacoplar mediante el enfoque de dos niveles y abordados por la ILP y la AG, respectivamente (Ren, Ma, et al., 2022).

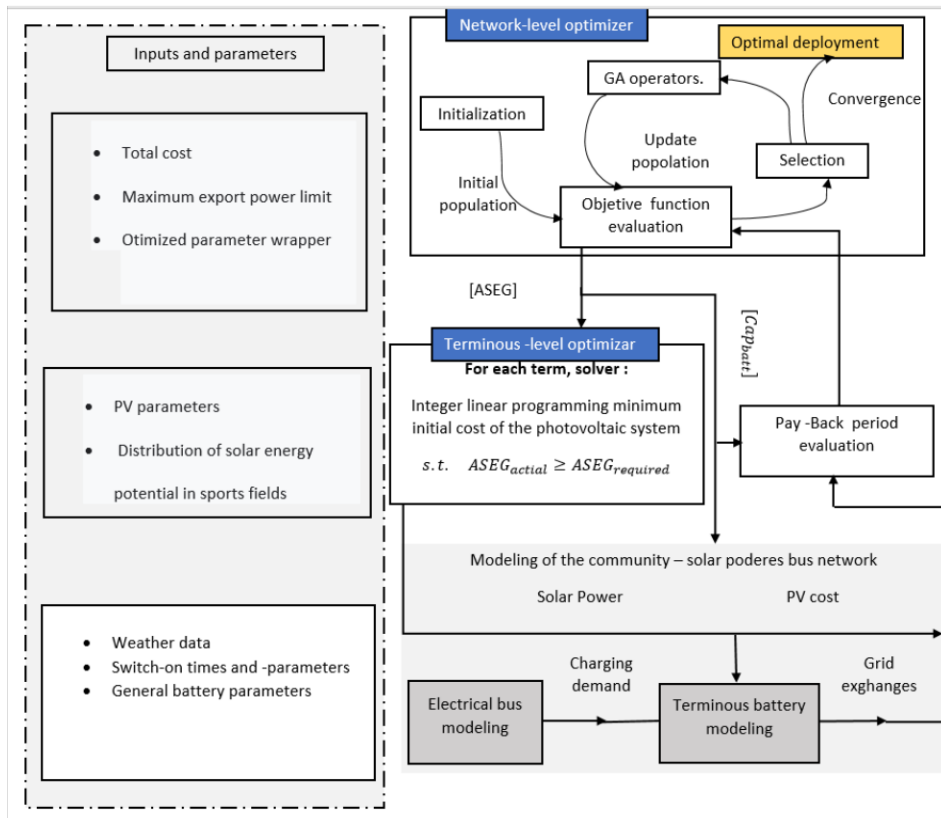


Figura 14 Esquema del enfoque GA-ILP. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

El optimizador de nivel de red utiliza el GA para determinar el óptimo de la acumulación anual de energía solar y la suficiencia de las baterías de cada comunidad. El GA genera soluciones candidatas, y cada solución consta de la acumulación anual de energía solar y la capacidad de las baterías de todas las comunidades, para evaluar el período de recuperación de las soluciones candidatas, la generación anual de energía solar y las capacidades de la batería se introducen en el optimizador de nivel solar y el modelo de la red de canchas

respectivamente. El optimizador de nivel solar genera el plan de instalación fotovoltaica óptimo de cada comunidad a través del ILP y el costo y la energía solar de los sistemas fotovoltaicos distribuidos en el techo estos pueden ser evaluados. Entonces, el resultado del optimizador de nivel solar será alimentado al modelo de la red de las canchas. Con la energía solar y la capacidad de la batería de cada comunidad, el modelo evalúa los intercambios de red de la cancha y por lo tanto las fases de recuperación de la inversión, las soluciones candidatas se pueden determinar y realimentar a nivel de red optimizador, los operadores de GA generarán entonces una nueva generación de soluciones candidatas como un proceso iterativo, y el optimizador de nivel de red se termina en función de los criterios de convergencia de la AG (Ren, Ma, et al., 2022).

2.6. Las energías renovables como elemento de lucha contra el cambio climático

Según (Castells, 2012) “La energía renovable es aquella que no consume recursos y además no contamina (en el sentido clásico de la palabra), es decir, que se trata de unas fuentes de suministro que pueden hacer de la energía un elemento sostenible” (pág. 5).

Las energías renovables están disponibles en nuestro entorno, estas fuentes de energía son naturalmente renovadas y generan muy pocos contaminantes o gases de efecto invernadero en la atmósfera. Para prevenir cambios significativos en los ecosistemas, es crucial que, a finales del siglo el aumento de la temperatura no supere el valor umbral de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales como se menciona en el Acuerdo de París en su artículo 2 que dice “Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento” (República del Ecuador, 2019)

Es por ello que se ve necesario el uso de este tipo de energías ya que se pretende no solo combatir el cambio climático, sino también evitar la contaminación del aire y mejorar la salud de las personas. Sin embargo, se ha descubierto que las contribuciones determinadas a nivel nacional de Ecuador no se asemejan al objetivo de París de mantener la temperatura global muy por debajo de 2°C. Para lograr una profunda reducción de las emisiones de carbono, se necesitan estrategias innovadoras que incluyan la bioenergía y la reforestación como elementos fundamentales. Por otro lado, Ecuador necesita diversificar su matriz energética y aumentar la implementación de tecnologías con bajas emisiones de carbono. Además, es fundamental electrificar el uso final de la energía en el sector del transporte (Villamar et al., 2021).

2.7. Los recursos energéticos distribuidos para la planificación de sistemas eléctricos 100% renovables

Hoy en día se puede observar un aumento de energía renovable en la operación de las empresas eléctricas, siendo la solar y eólica las fuentes más populares en muchos países. Cada vez más empresas de servicios públicos, proveedores de energía y gobiernos están considerando la posibilidad de realizar una transición hacia una generación de electricidad 100% renovable o sin emisiones de carbono para cubrir la creciente demanda de energía (Li et al., 2023).

Según las (Naciones Unidas, 2023):

Los combustibles fósiles dan cuenta todavía de más del 80% de la producción de energía en todo el mundo, aunque las fuentes de energía más limpias cada vez ganan más fuerza. Cerca del 29% de la electricidad proviene actualmente de fuentes de energía renovables.

Por otra parte, (Arrillaga, Watson, & Liu, 2007) mencionan que:

En la transmisión de energía eléctrica, se ha buscado mayor flexibilidad y eficiencia, sobre todo en largas distancias con el uso de líneas de transmisión en corriente directa (HVDC: High voltage direct current transmission). Este tipo de sistemas puede aportar ventajas como control del flujo de potencia, reducción de los costos y puede permitir la interconexión de sistemas asíncronos.

Es por eso que en la generación de energía renovable se debe tomar en cuenta diversos aspectos, como el costo, la disponibilidad de recursos y la ubicación geográfica, entre otros. Sin embargo, para integrar grandes cantidades de generación de energía renovable variable, se deben enfrentar múltiples desafíos, como la operación en condiciones climáticas inciertas y la variabilidad de la demanda de los consumidores, el desajuste entre la demanda y la generación variable, así como limitaciones técnicas, requisitos de política y consideraciones económicas.

2.8. Requisitos generales de iluminación para canchas deportivas

El diseño para la iluminación de la cancha requiere del cumplimiento de las normas existentes RESOLUCIÓN Nro. ARCERNNR – 029/2020.

Tabla 1. Parámetros fotométricos. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía de Recursos Naturales No Renovables.

Descripción:	Iluminancia Promedio mínimo (lx)	Uniformidad de la Iluminancia $U_0 \geq \%$
Canchas deportivas de uso múltiple y recreativo	50	40

la Tabla 1 definen las clases de iluminación para escenarios deportivos que deben cumplir los sistemas de iluminación con los parámetros fotométricos.

2.9. Despliegue óptimo con la restricción NZE y la restricción de potencia de exportación máxima

El despliegue óptimo se realizó utilizando el GA-ILP verificado el enfoque con la restricción NZE y diferentes niveles de la restricción de potencia de exportación máxima. La tabla 2 muestra el resume del desempeño del caso óptimo con y sin el límite de potencia máxima de su exportación.

Tabla 2. Resumen de rendimiento de los casos óptimos con y sin límite de potencia hacia la red eléctrica. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía de Recursos Naturales No Renovables.

	Without limit	500W limit (loose)	200W limit (strict)
Payback period (year)	3.98	4.24	10.21
Initial cost, PV (mil. HKD)	22.37	22.79	23.21
Initial cost, battery (mil. HKD)	7.12	10.24	65.55
Cost saving (mil. HKD)	7.09	7.52	8.54
Selling income (mil. HKD)	0.32	0.27	0.15
Annual solar energy generation (Wh)	9007	901	903
Peak export power (W)	594	499	199
Energy import (Wh)	354	310	227
Energy export (Wh)	261	221	124

El pico potencia de exportación del caso óptimo sin límite fue de 594 W. Por lo tanto, el límite de potencia máxima de 500W y el límite de potencia mínima de 200W fueron considerado como límite flexible y límite estricto, respectivamente. La figura 7 presenta la generación de energía solar anual óptima, la batería óptima y capacidades de todas las comunidades en los diferentes casos.

Los resultados mostraron que el requisito cada vez mayor sobre la reducción de la potencia máxima de exportación (es decir, se cumplió el límite más estricto en la potencia máxima de exportación de 500W a 200W) por dos enfoques, incluido el cambio de PV de energía solar de mayor densidad de terminales potenciales a otros más bajos y aumentando la capacidad de la batería. Ambos enfoques aumentaron los costos iniciales y prolongaron los períodos de recuperación como se presenta en la tabla 2 y sus efectos en el poder máximo de exportación. Además, las asignaciones de energía fotovoltaica y baterías entre las comunidades también influyeron en el pico de potencia exportadora. Este complejo intercambio se equilibró con la

estrategia de implementación óptima para minimizar el período de recuperación y al mismo tiempo cumplir con las restricciones.

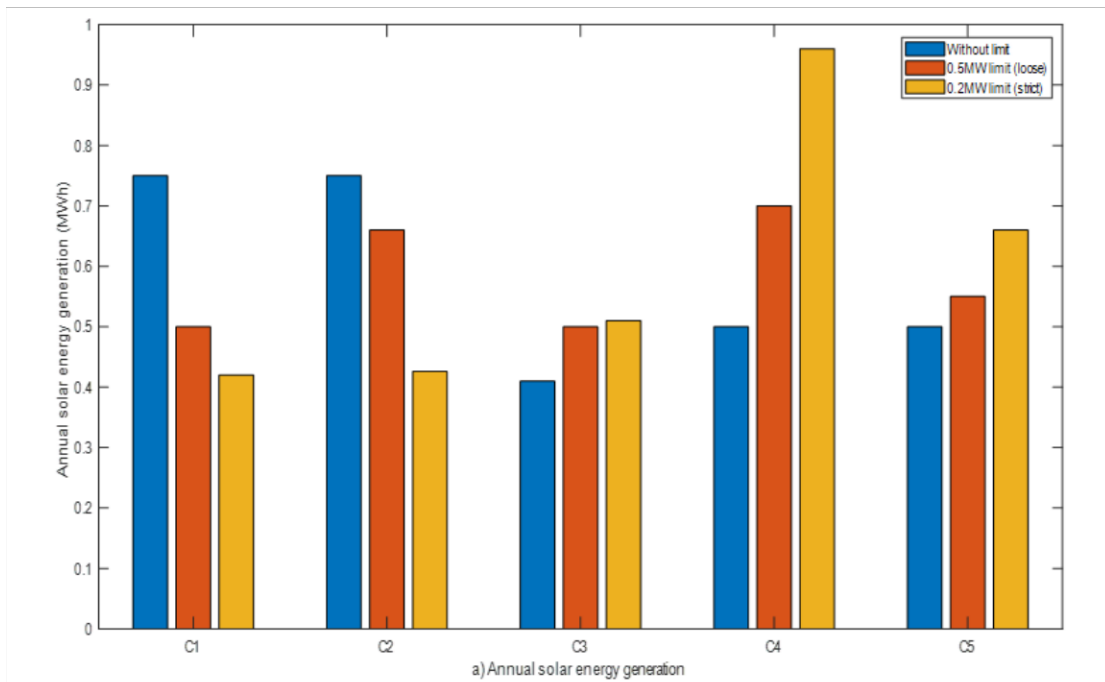


Figura 15. Generación anual óptima de energía solar de la comunidad. Fuente (Miguel Sigüencia, Santiago Salto, Autor)

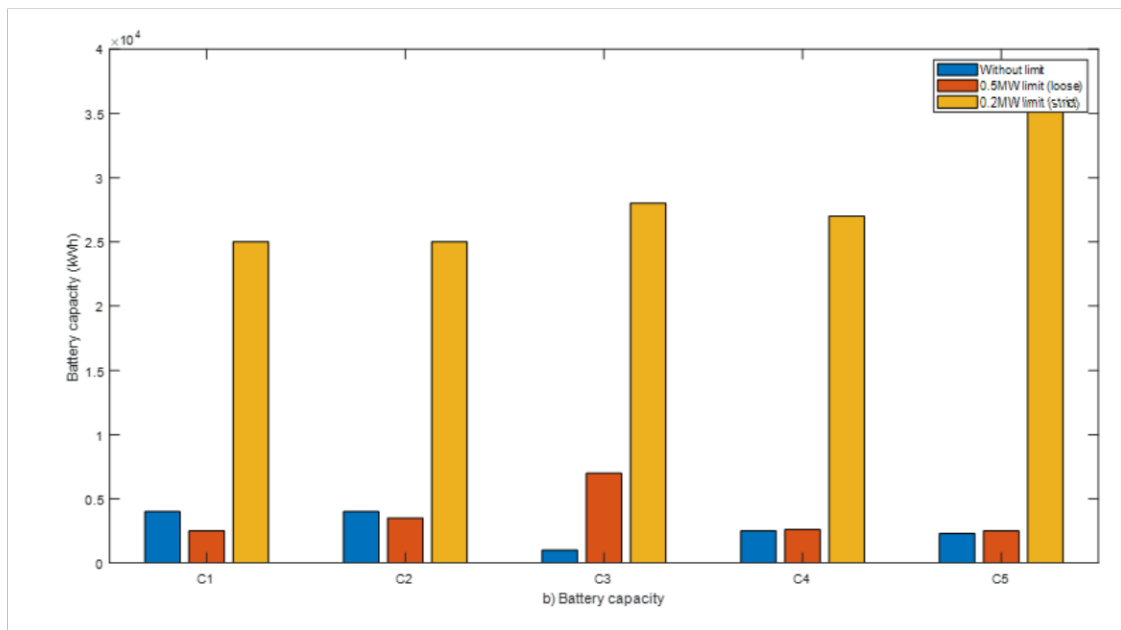


Figura 16 Capacidades óptimas de batería de todas las terminales sin el límite de potencia hacia la red eléctrica, con el límite de 5000 W y con el límite de 2000 W. Fuente (Miguel Sigüencia, Santiago Salto, Autor).

La figura 15 muestra que la generación anual de energía solar de la comunidad 1(C1) y la comunidad 2(C2) se cambió gradualmente a las comunidades 3(C3), 4(C4) y 5(C5) cuando la restricción se hizo más estricta. Tal cambio de PV facilitaría el despliegue de más paneles fotovoltaicos en tejados con menos energía solar potenciales y energía solar pico más baja,

reduciendo así la exportación pico fuerza. Esto se ilustrará en detalle más adelante en esta sección.

La figura 16 muestra que solo la capacidad de la batería de la comunidad 3(C3) tuvo un aumento en gran medida para reducir el poder máximo de exportación, al comparar el caso sin límite y los casos de límite suelto. Esto se debió a que la comunidad 3(C3) proporcionó la generación de energía solar anual más baja (ver Fig. 6), lo que resulta en menos exceso de energía solar para la carga de baterías y la exportación a la red. Aumentar la capacidad de la batería de la comunidad 3(C3) podría más reducir efectivamente el poder máximo de exportación en comparación con los demás. En el caso de límite estricto, las capacidades de la batería de las comunidades 1(C1), 2(C2), 3 (C3) y 5(C5) se incrementaron significativamente para cumplir con el límite estricto en el pico de exportación. Sin embargo, la capacidad de la batería de la comunidad 4 (C4) fue solo ligeramente aumentada en consecuencia con su generación anual de energía solar. Esto era porque la comunidad 4(C4) tuvo la mayor generación anual de energía solar entre las comunidades (ver Fig. 6a), y fue el más caro para reducir la potencia máxima de exportación aumentando la capacidad de la batería de la comunidad 4 (C4) entre las cinco comunidades.

La figura 17 presenta los planes de instalación de PV de la comunidad 1 y comunidad 4 sin el límite de potencia hacia la red eléctrica, con el límite de 5000W y con el límite de 2000W para ilustrar mejor el cambio de PV entre los terminales.

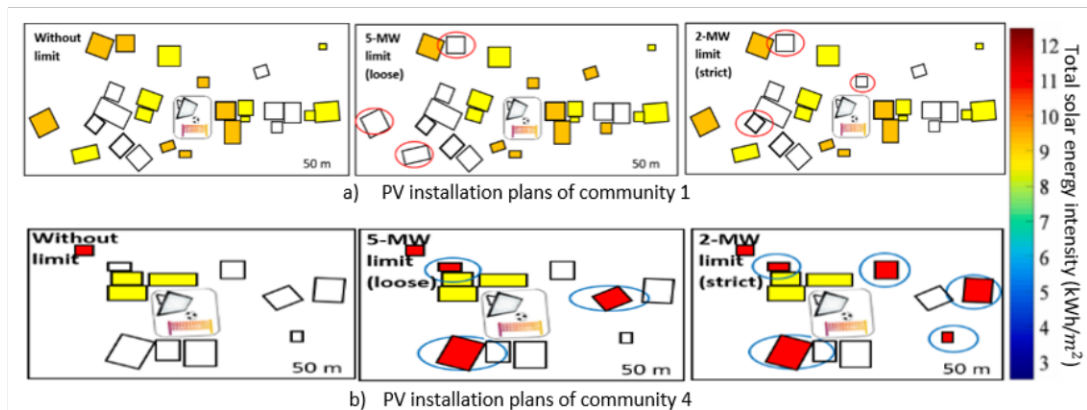
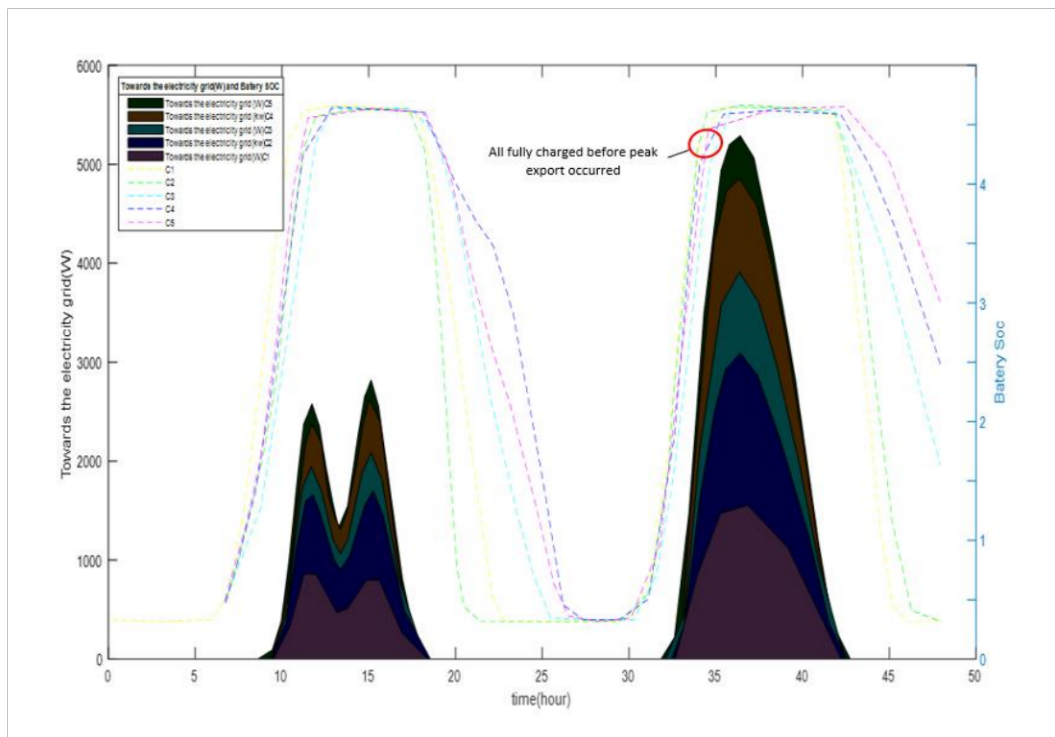


Figura 17 Planes de instalación fotovoltaica de la comunidad 1 y 4 sin el límite de potencia fotovoltaica, con el límite de 5000W y con el límite de 2000W. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

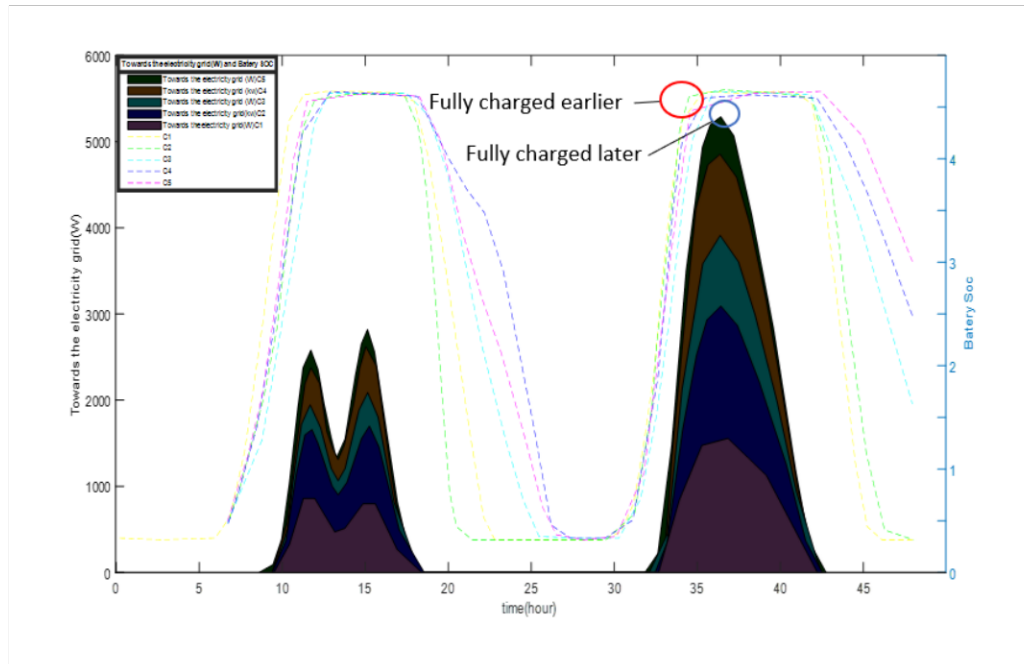
Los tejados seleccionados para la instalación fotovoltaica se cambiaron gradualmente de la comunidad 1 a la comunidad 4 cuando el límite de potencia máxima de exportación se volvió más estricto. Los techos de gran superficie alrededor de la comunidad 1(C1) se eliminaron gradualmente del plan de instalación cuando el límite máximo de potencia de exportación se hizo más estricto (como se destaca en los círculos rojos en la Fig. 17a), para reducir la generación de energía solar y la potencia solar máxima. Por otro lado, el plan de instalación

fotovoltaica de la comunidad 4 se amplió cuando el límite se hizo más estricto. Cada vez más tejados con áreas más pequeñas y intensidades de energía solar más bajas se incluyeron en los planes de instalación de PV (como se destaca por los círculos azules en la Fig. 17b). La inclusión de estos techos aumentó el costo inicial total de los sistemas fotovoltaicos distribuidos en los techos.

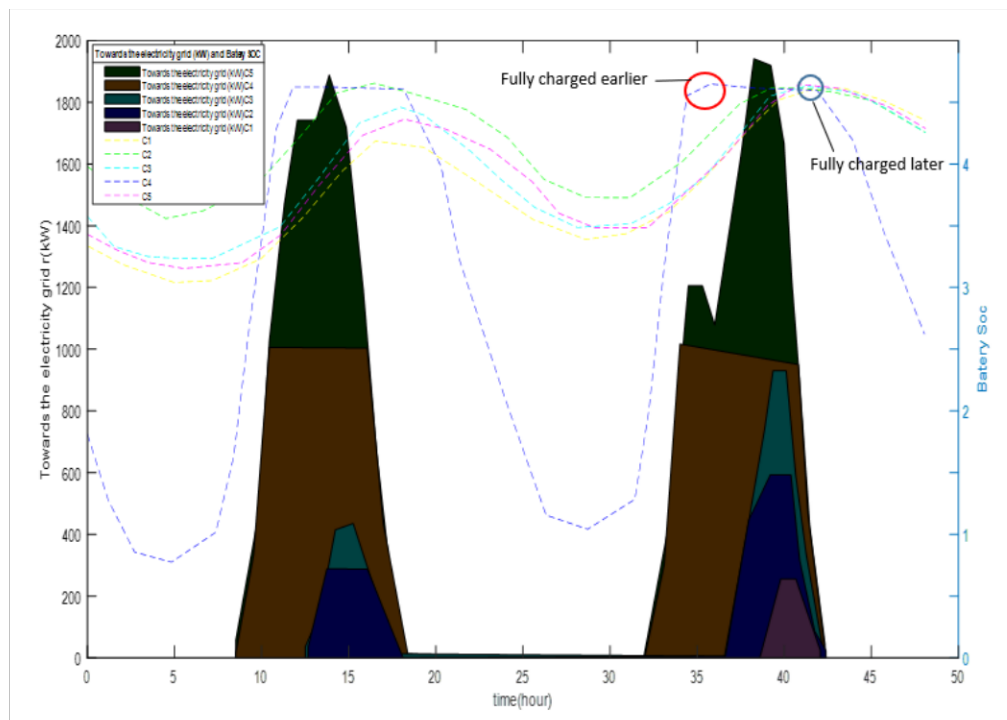
La figura 18 muestra la descomposición de la potencia de exportación de todas las comunidades y el SOC de la batería de cada comunidad del día antes de que ocurriera el pico de potencia de exportación.



a). Without peak towards the electricity grid limit



b). 5000 W (lose) peak towards the electricity grid limit



c). 2000 W (strict) peak towards the electricity grid limit

Figura 18 Descomposición de la potencia de exportación y el SOC de la batería de cada comunidad el día y el día anterior a cuando se produjo el pico de potencia de exportación. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Se puede observar que, en el caso sin límite las baterías de todos los terminales estaban completamente cargadas antes de que ocurriera el pico de potencia de exportación. El pico de potencia de exportación fue aportado por todas las comunidades simultáneamente y fue aportado principalmente por la comunidad 1 y comunidad 2 (es decir, 52,9%).

En el caso de límite flexible, el poder máximo de exportación de la comunidad 3 fue reducido y retrasado durante unas horas por la batería de gran tamaño como en comparación con el caso sin límite. Mientras tanto, las contribuciones de las comunidades 1, 2, 4 y 5 hasta la potencia máxima de exportación también se redujeron en 310 W debido al cambio de PV. Estos dos factores redujeron conjuntamente la potencia máxima de exportación, satisfaciendo así el límite de potencia máxima de exportación. Para el caso de límite estricto, el poder máximo de exportación se redujo principalmente por las grandes baterías de las comunidades 1, 2, 3 y 5, y el aporte del cambio de PV fue menos significativo. El pico de potencia de exportación fue mayoritariamente aportado por la comunidad 4 que tuvo la mayor energía solar anual de generación, pero la capacidad de batería más pequeña entre las cinco comunidades.

2.10. Trabajos previos y revisión del estado del arte

(Pode, 2010) discute las barreras y los mecanismos para impulsar el uso de la iluminación con energía solar. La iluminación basada en fósiles contribuye al calentamiento global y causa serios problemas de salud. Para resolver estos problemas, algunos países en vías de desarrollo ahora están fomentando el uso de sistemas de iluminación limpios y sostenibles como los sistemas LED solares.

(Instituto Tecnológico de Canarias S.A., 2008) “La energía procedente del sol se la puede aprovechar de dos formas como fuente de calor: 1. energía solar térmica de baja y media temperatura. 2. Como fuente de electricidad: energía solar fotovoltaica y solar térmica de alta temperatura” (pág. 51).

(Akinyele et al., 2015) resaltan que la energía es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): teniendo plan posterior desarrollado por las Naciones Unidas para abordar la pobreza energética, buscando en este plan, mitigar el cambio climático y también encontrar opciones de energía alternativa a los combustibles fósiles, generando un interés creciente en el desarrollo de sistemas de energía renovable en todo el mundo. Dichos sistemas tienen el potencial de abordar el déficit de energía en las regiones pobres en energía del mundo. Alrededor del mundo el 50% de los 1.200 millones de las familias viven sin acceso a la electricidad, siendo un dato preocupante ya que en pleno siglo XXI sigan muchas personas sin posibilidad de utilizar este servicio básico.

Un ejemplo de que los países están queriendo implementar energías renovables es Togo ya que llevaron a cabo una evaluación con el fin de fomentar el desarrollo de la energía renovable, pues el gobierno de este país tiene como meta lograr la electrificación del 100% de la población para el año 2030, para cumplir así con los objetivos del milenio. Los resultados obtenidos indican que la mejor estrategia para alcanzar esta meta es aumentar la participación

de las energías renovables en Togo a través de un acceso acelerado a la energía solar fotovoltaica e hidroeléctrica a pequeña escala (Kansongue et al., 2022).

En Latinoamérica, (Rodríguez & Monoga, 2021) llevaron a cabo una planificación del sistema de instalación fotovoltaica off grid con el objetivo de proveer iluminación para la cancha de fútbol en el corregimiento de Cornejo que está ubicado en el municipio de San Cayetano en Colombia. Durante la implementación tuvieron en cuenta las regulaciones actuales del país, establecidas por organismos responsables como la Comisión de Regulación de Energía, y también se consideraron las normas eléctricas colombianas que se aplican al uso de productos fotovoltaicos eléctricos.

(Neira González & Velecela Zhindón, 2014) determinan la factibilidad para la generación eléctrica con fuentes de energía eólica y solar para el sector Garauzhí de la parroquia Quingeo de la ciudad de Cuenca, como alternativa a la generación eléctrica mediante fuentes tradicionales.

Para llevar a cabo este trabajo es necesario realizar investigaciones científicas y estudios de campo, ya que los resultados obtenidos determinarán la viabilidad técnica y económica del proyecto; además se pueden analizar las ventajas y desventajas que ofrecen los sistemas solares y la mejor combinación de iluminación de dichos sistemas.

(Apraez Cando & Armijos Yalama, 2020) desarrollaron un modelo matemático con el objetivo de simular diferentes condiciones para luego compararlas con las mediciones de campo. Las pruebas del monumento se realizaron en la zona rural de Puntahacienda de Quingeo, donde existe una zona clara y sin sombras, que permite admirar el globo terráqueo con sus continentes en horas de la noche.

(Urgilés Bermeo, 2019) resaltaron el diseño e implementación de la Iglesia Macas Alto en la parroquia de Quingeo con el objetivo de proteger el medio ambiente y promover el uso de estas energías. Para ello, primero instalaron una estación meteorológica en el sitio de estudio y recopilaron datos de temperatura y radiación solar durante 12 meses.

(Portoviejo Brito, 2018) realizaron estudios de factibilidad para la implementación de un sistema de energía híbrida (eólico-fotovoltaico) en las zonas de Curiquina y Loma de Guamán de la parroquia de Quingeo. Se instaló una estación meteorológica para el estudio de factibilidad y se revisaron las condiciones de velocidad y dirección del viento, radiación solar y temperatura durante tres meses.

(Saguay Mejía & Gutiérrez Miranda, 2021) proponen el uso de energía solar en instalaciones ecoturísticas ubicadas en la finca Mama Angelita Naranjal, se llevó a cabo un estado del arte y una evaluación visual preliminar. Esta evaluación permitió dimensionar de

manera más precisa los sistemas fotovoltaicos, ya que se detectó que tres áreas, la cancha sintética, el sendero y la casita del árbol, tenían una iluminación deficiente. Cada uno de los sistemas fotovoltaicos presentaba características distintas, debido a que el consumo energético variaba según la actividad realizada en cada área.

(Lema Sánchez et al., 2019) llevaron a cabo un estudio piloto para instalar un sistema de alumbrado público automatizado basado en energía solar en un complejo residencial en el Valle de los Chillos, Ecuador. El proyecto se enfoca en la conservación de energía y pretende beneficiar a 30 familias, dicho estudio se divide en tres fases: encuesta en línea, programación del sistema y esquematización del sistema modelo. Estas encuestas brindaron información sobre cómo las personas usan la iluminación. Luego, la programación del sistema ayudó a determinar los materiales necesarios y, finalmente, se construyó el modelo del sistema.

(Mera Rodríguez & Pastuña Sigcha, 2022) en cambio pretenden crear un sistema de iluminación con energía renovable para el área de recreación en la Zona A del Anexo La Maná de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en ese sentido, se utilizará energía solar como generador, y también se incluirán baterías, ya que el sistema de iluminación será aislado y no dependiente de la red.

(Muñoz Cano, 2021) explicó que los sistemas solares autónomos podrían alimentar edificios y centros deportivos. Para ellos, el diseño funcional se adapta al espacio disponible y al menor costo posible de los componentes, lo que puede demostrar la posibilidad de utilizar la energía solar para satisfacer la demanda energética. Una alternativa mejorada a la iluminación de turno tradicional que utiliza tecnologías populares como la iluminación LED. Para ello se mejoró la medición del nivel de iluminación según los valores recomendados en las normas técnicas vigentes.

Para (Vargas et al., 2014) los gobiernos buscan solucionar un problema crítico de la operación y gestión en alumbrado de áreas recreativas ya que es elevado el consumo de energía. El desarrollo y la implementación de sistemas de control innovadores y la integración de sistemas de producción de energía renovable en los sistemas de iluminación conducirán a ahorros de energía significativos y el gobierno ecuatoriano ha iniciado un ambicioso proyecto de construcción de nueva tecnología para este fin.

(Bordons et al., 2015) compararon cómo la transferencia de energía entre un pequeño sistema híbrido de energía renovable y la red puede satisfacer parte de la demanda de energía en el sistema de servicios públicos porque el panel fotovoltaico está cerca de la demanda de energía. Teniendo los generadores de energía y la demanda están conectados a la red eléctrica y puede existir la posibilidad de vender el exceso de energía a la red o comprarla si es necesario.

Según (Serrano-Tierz et al., 2015) el uso de iluminación LED para espacios exteriores supone un importante ahorro energético, tanto por la potencia, las superficies a iluminar y el tiempo de uso. Por ello, cada vez se desarrollan más proyectos de iluminación que sustituyen los sistemas de iluminación tradicionales por esta tecnología. La llegada de esta tecnología de iluminación LED hace que los sistemas de iluminación tradicionales, como las lámparas de halogenuros metálicos y fluorescentes, queden obsoletos, por otro lado, es un ahorro significativo en su utilización.

Así mismo, (Icaza et al., 2022) evalúa que en el sistema energético eléctrico sudamericano existen características muy acertadas que poseen las energías renovables y éstas pasarán por un proceso de transición para dejar atrás los sistemas energéticos basados en combustibles fósiles. Mientras en el caso ecuatoriano es un enfoque novedoso porque en primera instancia su matriz se basó en el uso de combustibles fósiles y como consecuencia la contaminación en la Amazonía, y con el uso de las energías renovables se podrá en cierta manera reducir la contaminación.

(Serrano-Tierz et al., 2015) evalúan los enfoques de iluminación LED frente a los sistemas tradicionales, incluida la comparación de la eficiencia (lm/W) de cuatro tecnologías disponibles en el mercado, aquí se evalúan propiedades como la eficiencia, el brillo, la vida útil de la lámpara y la dependencia de la temperatura. Con este análisis se ha iniciado la comparación y se ha llegado a la conclusión de que se cuenta con la tecnología LED, logrando un gran ahorro de energía, ya que las superficies iluminadas actuales y el tiempo de uso son los mejores en comparación con la tecnología anterior.

CAPITULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Esquema del sistema fotovoltaico



Figura 19. Esquema del sistema fotovoltaico Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Para que esta iluminación renovable cumpla su proceso el panel solar tiene que estar expuesto a la radiación, para que los electrones se mueven hacia la capa portadora de protones y generan una corriente continua que requiere un regulador para regular el flujo de energía del panel a la celda. Las baterías nos permiten almacenar el exceso de energía generada por los módulos fotovoltaicos. Esta energía almacenada se puede utilizar en ausencia de luz solar. Para mejorar los resultados obtenidos, se utiliza un inversor que convierte esta energía en corriente alterna. El esquema se representa en la figura 19.

3.2. Implementación del sistema fotovoltaico

Esta cancha de vóley está ubicada en Ecuador, en el cantón Cuenca de la provincia del Azuay de la parroquia de Quingeo, donde se encuentra la instalación del sistema fotovoltaico en el cual desarrollaremos la implementación de 4 reflectores de 200w como se visualiza en la figura 20.



Figura 20 Cancha a iluminar. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

3.3. Instalación de los equipos

3.3.1. Instalación del panel solar

Como primer paso se instaló sobre el techo los paneles solares, para ello fue necesario colocar sus soportes en el techo dependiendo del tipo de inclinación, después de fijar sus soportes se deben colocar los paneles (el panel a ocupar es un monocristalino de 200W y 12V que consta de 32 células monocristalinas con vidrio templado de 3.2mm de grosor para una alta transmisión y eficiencia en la captación de la radiación solar), en la figura 13 se muestra la colocación de dichos paneles.



Figura 21 Panel fotovoltaico de 100W. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

3.3.2. Instalación del controlador

Como segundo paso, se fijó el controlador de carga en la pared. El controlador utilizado es el modelo MPPT120D de Solar Charge Controller.



Figura 22 Controlador MPPT120D. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Los controladores de carga MPPT son dispositivos que controlan la energía que viaja entre la batería y los módulos solares que componen un panel solar.

3.3.3. Instalación del inversor

Como tercer paso, se debe fijó el inversor a la pared, el inversor a ocupar es el Modified Sine Wave Power Inverter marca Sungrow modelo M-500W.



Figura 23 Inversor Modified Sine Wave Inverter. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Este inversor tiene características de protección térmica contra sobretensiones, protección contra fallas a tierra, protección contra inversión de polaridad y protección contra baja tensión. Además, ofrece una salida USB de 5V 1A para cargar dispositivos y un interruptor de encendido/apagado con 2 indicadores LED. El inversor también tiene un ventilador de refrigeración que se enciende automáticamente cuando alcanza el 30% de potencia y viene con una garantía de 1 año.

3.3.4. Instalación de la batería

Como cuarto paso, la batería es instalada en el techo de la casa con el fin de ahorrar cable la batería que se ocupó es una VRLA BATTERY de 12V y 100Ah.



Figura 24 Batería VRLA BATTERY de 12V y 100Ah. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Las baterías son dispositivos electroquímicos que utilizan energía química para almacenar o liberar energía eléctrica. Estas baterías se utilizan para almacenar la energía eléctrica que generan los paneles solares cuando la radiación solar es más fuerte, por lo que se pueden utilizar durante la noche o los días nublados.

3.4. Resultados de la iluminación en el sitio

En este ítem se representa el funcionamiento de los reflectores con energía solar, para llegar al resultado, el control de atenuación activo mediante foto sensores puede proporcionar ahorros de energía adicionales marginales. Además, este tipo de sistemas pueden tener un alto consumo eléctrico. El sistema permite controlar las lámparas con diferente porcentaje de flujo luminoso, de forma manual o automática, en los periodos de poca iluminación o según la luz natural disponible al atardecer.

El encendido y apagado de las luminarias se controla en tres formas: la primera por control remoto, la segunda por sensor de movimiento y tercera por fotocélula. Según esto las luminarias se encienden mediante el requerimiento de las personas, con eso ayudamos a que puedan controlar manualmente todos los equipos, sincronizar los tiempos y los niveles de iluminación. Las luminarias instaladas se muestran en la figura 25 (se caracterizan por una estructura en aluminio).



Figura 25 funcionamiento de las luminarias. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

CAPITULO 4

4. DISCUSIÓN

4.1. Comunidad 1

Los autores, (Ayala Tipan & Morillo Chiluzia, 2021) para el desarrollo de su proyecto implementaron un sistema de iluminación con paneles solares para abastecer las baterías, para luego alimentar los reflectores. El proyecto lo realizaron utilizando estándares de iluminación y cálculos matemáticos, para llevar a cabo su proyecto necesitaron 108.060,42 lúmenes de flujo de luz para iluminar el área de la cancha de 1161,94 metros cuadrados. Para lograr su objetivo debieron instalar seis reflectores de 18.000 lúmenes con una potencia de 300 vatios, distribuidos de la siguiente manera, tres a cada lado, en un ángulo óptimo de 4,35 grados según su latitud. Calcularon que ahorrarían 270 kWh por mes y 3240 kWh por año, lo que equivale a un costo financiero anual de \$338.25.

4.2. Comunidad 2

El autor (Rodríguez Monoga, 2021) durante el desarrollo de su proyecto, tomó en cuenta las leyes y reglamentos vigentes que tiene el país para el sistema de iluminación, utilizó la tecnología LED para el ahorro que genera el consumo de la iluminación de la cancha, economizando aproximadamente 25 años de consumo de energía a largo plazo durante la vida útil de estos paneles solares, proporcionando así un beneficio económico de \$178. El diseño del proyecto fue realizado en base a un análisis estadístico de las variables climáticas en el sitio de instalación que deben ser consideradas en cualquier proyecto de energías renovables, como la temperatura ambiente, la radiación solar y la intensidad de la luz solar.

4.3. Comunidad 3

El autor (Padilla Alvarado, 2019) realizó un análisis de cada uno de los subsistemas que componen el sistema fotovoltaico como el subsistema de generación, regulación, almacenamiento, adaptación de corriente y una carga final, para la iluminación de la cancha y para este estudio implementó 2 paneles solares de 165W de potencia, 2 reflectores LED de 50W de potencia que permitió un mayor ahorro de consumo y el normal desarrollo para las actividades deportivas en horas de la noche y a la vez analizó los niveles de lúmenes adecuados según las normas de iluminación para centros deportivos. Para la simulación se ayudó con el Software Dialux, ya que es un software libre. También calculó el ahorro del proyecto que fue de \$230.

4.4. Comunidad 4

El autor (Chindón Livisaca, 2018) realiza un análisis para implementar iluminación fotovoltaica a una cancha deportiva con iluminación de red existente con el fin de emitir un ahorro a la comunidad, lo primero que hizo fue cambiar los reflectores a iluminación led ya que su ahorro es de 61242.30KWh y una reducción al pago del consumo eléctrico de \$180.25, para llegar a este ahorro tuvo que hacer una inversiones con un gasto de \$270 dólares para la adquisición de los nuevos reflectores.

4.5. Comunidad 5

Los autores (Malagón Revilla & Sánchez Tituana, 2021) realizan un modelado y simulación con investigación cuantitativa recurriendo al método práctico de levantar información in situ sobre la iluminación existente, para llevar acabo con su investigación realizan un diseño en base a los análisis realizados para dar una propuestas de iluminación a los moradores de la cancha mediante el software Dialux. De acuerdo a los análisis técnico económicos hacia la implementación la propuesta resulta más conveniente la utilización de paneles solares con un presupuesto de \$280 ya que el costo sin central fotovoltaica era de \$380 más los pagos que se realizaban a la empresa eléctrica por su consumo.

CAPITULO 5

5. MODELADO MATEMÁTICO

5.1. Optimizador a nivel de red y función objetivo

La fase de recuperación (*Payback period*) de los sistemas fotovoltaicos distribuidos en la cancha deportiva y las baterías se evalúa con las Ecu. (1)–(3). La inversión inicial del período de recuperación, incluye el costo inicial de los sistemas fotovoltaicos distribuidos en las canchas y las baterías. El flujo de efectivo anual del período de recuperación incluye el ahorro de costos de comprar electricidad de la red para la carga de reflectores (es decir, C_{save}) y los ingresos de venta de exportar el exceso de energía solar a la red. (es decir, I_{sell}). Las definiciones detalladas del costo inicial del sistema fotovoltaico distribuido en la cancha se proporcionarán más adelante.

$$Paybackperiod = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} C_{PV,i} \rho g + \sum_{i=1}^{N_T} Cap_{batt,ter,i} UP_{batt}}{C_{save} + I_{sell}} \quad \text{Ec. (1)}$$

5.2. Ahorro de costos para comprar electricidad de la red para la carga de reflectores

$$C_{save} = \sum_{i=1}^{N_T} \sum_{k=1}^{8760} (P^k_{char,i} - P^k_{import,i}) \Delta t UP_{elec,purchase} \quad \text{Ec. (2)}$$

5.3. Ingresos de venta para exportar el exceso de energía solar a la red

$$I_{sell} = \sum_{i=1}^{N_T} \sum_{k=1}^{8760} P^k_{export,i} \epsilon_{inv} \Delta t UP_{elec,sell} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde

N_T = es el número de Canchas

$C_{PV,i}$ = es el costo inicial del sistema fotovoltaico distribuido en la cancha de la i -ésima comunidad

$Cap_{batt,ter,i}$ = es la capacidad de la batería de la i -ésima comunidad

C_{save} = es el ahorro de costos

I_{sell} = es la venta ingresos de exportación de la red,

UP_{batt} = es el precio unitario de la batería,

Δt = es el paso de tiempo,

$\Delta t UP_{elec,purchase}$ = es el valor unitario de comprar electricidad de la red,

$\Delta t UP_{elec,sell}$ = es el valor unitario de vender electricidad a la red

ϵ_{inv} = es la eficiencia del inversor

$P_{kchar,i}$, $P_{kimport,i}$ y $P_{kexport,i}$ son la potencia de carga del reflector, la potencia de importación de la red y la potencia de exportación de la red del terminal i -ésimo en la hora k -ésima, respectivamente.

Para lograr NZE (restricción de demanda) para la red del sistema con energía solar comunitaria y aliviar el impacto en la red de los sistemas fotovoltaicos se formulan al menos dos restricciones, es decir, la restricción NZE y la restricción de potencia de exportación máxima, La restricción NZE se describe mediante la Ecu (4)

$$\left| \frac{\sum_{i=1}^{Nr} \sum_{k=1}^{8760} P_{PV,i}^k - \sum_{i=1}^{Nr} \sum_{k=1}^{8760} P_{char,i}^k}{\sum_{i=1}^{Nr} \sum_{k=1}^{8760} P_{char,i}^k} \right| \leq \sigma NZE \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde

$P_{PV,i}^k$ = energía solar provista por la i -ésimo sector vecino

i = énesimo término

k = énesima hora

σNZE = umbral de la restricción NZE que es del 2%

5.4. Restricción de potencia de generación máxima

Se adopta una restricción para limitar la potencia máxima de exportación agregada por la energía solar desde todas las comunidades. Esto toma la capacidad de consumo de energía renovable de la red eléctrica disminuyendo el límite de la potencia máxima de exportación. La restricción se vuelve más estricta y da como resultado una mayor potencia de exportación máxima; reducción en comparación con un caso sin la restricción.

Los sistemas en los sectores vecinos pueden limitarse a un seguro definido nivel (es decir, P_{export} , límite), mejorando así la compatibilidad con la red del Fotovoltaica distribuida a gran escala.

$$\max_{k \in \{1,2,\dots,8760\}} \sum_{i=1}^{Nr} P_{export,i}^k \leq P_{export,i} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde

P^k =es la potencia de exportación de la i -ésimo sector en la k -ésima hora.

5.5. Optimizador de nivel y función objetivo

El optimizador de nivel terminal minimiza el costo inicial de PV y satisface la generación anual de energía solar a un plan de instalación fotovoltaica que conformado por un conjunto de índices de instalación es un indicador para cada cancha deportiva. El área disponible de

una azotea de las comunidades está totalmente instalada con paneles fotovoltaicos cuando el índice de instalación es uno y se deja vacío cuando el índice es cero.

El costo inicial del sistema fotovoltaico incluye: Paneles fotovoltaicos y el costo del cableado para conectar los paneles fotovoltaicos. La generación de energía solar anual requerida es utilizada como una restricción que no debe ser inferior a la cantidad requerida correspondiente.

$$C_{PV,i} = [C_{PV_BR,i1}, C_{PV_BR,i2}, \dots, C_{PV_BR,i,N_{BR,i}}] x \begin{bmatrix} II_{i,1} \\ II_{i,2} \\ \vdots \\ II_{i,N_{BR,i}} \end{bmatrix} \quad II \in \{0,1\} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$C_{PV,N_{BR,i,j}} = Cap_{PV,N_{BR,i,j}} UP_{PV_BR,i,j} + UP_{PV_BR\ upf} + D_{i,j} UP_{cab} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$Cap_{PV_BR\ i,j} = I_{rtd} A_{ava,i,j} \varepsilon_{pv} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde

C_{PV_BR} , $II_{i,1}$, $Cap_{PV_BR\ i,j}$, $UP_{PV_BR,i,j}$ y $A_{ava,i,j}$ = Costo total del sistema fotovoltaico

$N_{BR,i}$) = es el número de los techos de los edificios de la i-ésima comunidad,

$UP_{PV_BR\ upf}$) = es el costo inicial de la instalación fotovoltaica,

$D_{i,j}$ = es la distancia entre la azotea del edificio y terminal correspondiente, UP_{cab} = es el precio unitario del cableado,

I_{rtd} = es la irradiación solar nominal,

ε_{pv} = es la eficiencia eléctrica total del sistema fotovoltaico.

5.6. Modelado de sistema del sistema de iluminación alimentado por energía solar

Se evalúa el desempeño del sistema de iluminación alimentado con energía solar red. Este consiste en un modelo de sistema fotovoltaico donde se incluye la azotea, el modelo de cancha deportiva y un modelo de batería. La energía fotovoltaica distribuida en la azotea determina la generación de energía solar dinámica, basada en un plan de instalación dado y el potencial de energía solar, resultados de la caracterización. La energía solar proporcionada por la distribución instalación fotovoltaica sobre el tejado pertenecientes a una comunidad el término se calcula usando:

$$\begin{bmatrix} P^1_{PV,i} \\ P^2_{PV,i} \\ \vdots \\ P^{8760}_{PV,i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I^1_{i,1} & I^1_{i,2} & \dots & I^1_{i,NBR,i} \\ I^2_{i,1} & I^2_{i,2} & \dots & I^2_{i,NBR,i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I^{8760}_{i,1} & I^{8760}_{i,2} & \dots & I^{8760}_{i,NBR,i} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} II_{i,1}A_{ava,i,1} \\ II_{i,2}A_{ava,i,2} \\ \vdots \\ II_{i,NBR,i}A_{ava,i,NBR,i} \end{bmatrix} \times \varepsilon_{pv} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde

PV, i = es la potencia solar del término i-ésimo en la hora k-ésima

$I^k_{i,j}$ = es la irradiancia solar total efectiva en el j-ésimo techo de la i-ésima comunidad en la k-ésima hora

El modelo del reflector determina el estado de carga de la batería (SOC) y la potencia de carga. El consumo de energía durante su uso e igual las variaciones de la batería y la carga se calcula con la ecuación

$$\begin{aligned} SOC_{reflector}^{t_{trav}} &= SOC_{reflector}^o - \frac{D_{trav} \int_{t=0}^{t_{trav}} (1 + \theta_{AC}(T_{amb}))}{Cap_{batt,bus}} (when\ it\ work) \\ SOC_{reflector}^{t_{char}} &= SOC_{reflector}^o - \frac{\varepsilon_{batt,reflector} P_{char,reflector} \Delta t_{char,reflector}}{Cap_{batt,reflector}} (when\ charging\ at\ terminus) \\ SOC_{reflector,min} &\leq SOC_{reflector} \leq SOC_{reflector,max} \end{aligned} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde

$SOC_{reflector}$ = batería del reflector

$SOC_{reflector}^{trav}$ = batería de reflector después de un tiempo de encendido

t_{trav} = tiempo de encendido del reflector

D_{trav} = duración de encendido

$\varepsilon_{reflector}$ = es el consumo de la batería

θ_{AC} = es un coeficiente que representa el consumo extra de energía del reflector

T_{amb} = es la temperatura del aire ambiente,

$SOC_{reflector}^{t_{char}}$ = es la carga de la batería del reflector después de un tiempo de de encendido

t_{char} = tiempo de encendido

$SOC_{reflector,min}$ y $SOC_{reflector,max}$ = son los estados de carga mínimos y máximos de la batería del reflector

$Cap_{batt,reflector}$, $\varepsilon_{batt,reflector}$, $P_{char,reflector}$ y $\Delta t_{char,reflector}$ son la batería capacidad, eficiencia de carga de la batería, potencia de carga y duración de carga de un reflector.

La batería terminal se carga con el exceso de energía solar y se utiliza para la carga del reflector cuando la energía solar es menor que la demanda de carga. El SOC de la batería terminal es calculado con la Ec. (11) Con el SOC determinado, la energía solar exportada a

la red y la energía importada de la red (para bus carga) se puede calcular con la ecuación. (12) y la ecuación (13), respectivamente.

$$\left\{ \begin{array}{l} SOC_{ter,i}^{k+1} = SOC_{ter,i}^k + \frac{(P_{PV,i}^k - P_{char,i}^k) \varepsilon_{batt,ter} \Delta t}{Cap_{batt,ter,i}} (P_{PV,i}^k - P_{char,i}^k \neq 0) \\ SOC_{ter,min} \leq SOC_{ter} \leq SOC_{ter,max} \end{array} \right\} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$P_{export,i} = P_{PV,i} - P_{char,i}$$

$$SOC_{ter,i} = SOC_{ter,max} \& P_{PV,i} - P_{char,i} > 0 \quad \text{Ec. (12)}$$

$$P_{export,i} = P_{PV,i} - P_{char,i}$$

$$SOC_{ter,i} = SOC_{ter,min} \& P_{PV,i} - P_{char,i} < 0 \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde

$SOC_{ter,i}$ = es el SOC de la batería en el i-ésimo terminal

$\varepsilon_{batt,ter}$ = es la eficiencia de carga/descarga de la batería terminal.

CAPITULO 6

6. MODELADO Y SIMULACIÓN

6.1. Requisitos generales para la iluminación de la cancha de vóley

Esta investigación propone un sistema de energía renovable con base solar con el objetivo de iluminar una cancha de vóley y que los usuarios tengan un nivel de iluminación confortable con la iluminación necesaria para dicho deporte. La figura 26 muestra el diseño del sistema.



Figura 26 Sistema propuesto. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Saltos, Autor).

6.2. Potenciales de energía solar en los techos de las comunidades vecinas

La figura 27 representa el potencial de energía solar en los techos de las casas de las comunidades aledañas. La energía solar total indica la irradiación solar acumulada anual por unidad de área disponible en el techo de una casa, que se determinó en base a la irradiación solar dinámica considerando los efectos de sombreado de las casas.

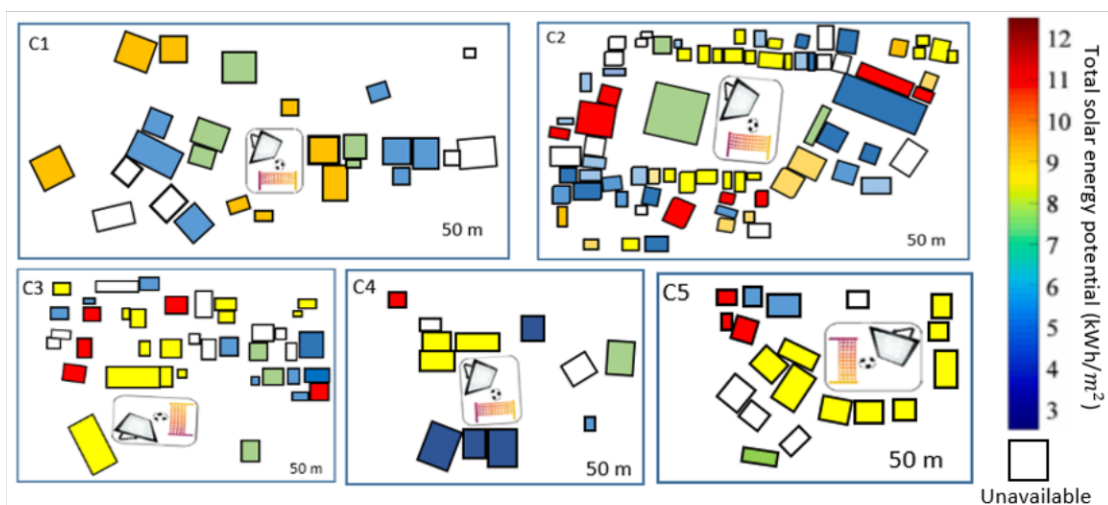


Figura 27 Muestra de potenciales de energía solar en las azoteas de las comunidades aledañas a las canchas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Los resultados en la figura 27 mostraron que había un número de áreas grandes de techos cercanos a la comunidad 1 con intensidades moderadas de energía solar. Había abundantes potenciales de energía solar alrededor de la comunidad 2 gracias al considerable número de cubiertas de media superficie y alta energía solar, la comunidad 3 estaba rodeado por unos pocos tejados de gran superficie y una gran cantidad de techos de área pequeña, la comunidad 4 estaba rodeada principalmente por áreas pequeñas y la comunidad 5 fue principalmente rodeado de casas de bajo potencial de energía solar, y había un número de techos de alto potencial de energía solar que estaban distantes de la cancha.

La figura 28 presenta las variaciones del precio unitario de energía solar de las cinco comunidades con diferentes niveles de generación anual de energía solar. El precio unitario de la energía solar se determinó en función de la energía fotovoltaica óptima y el plan de instalación (con el costo minimizado) bajo una energía solar anual dada de generación de energía.

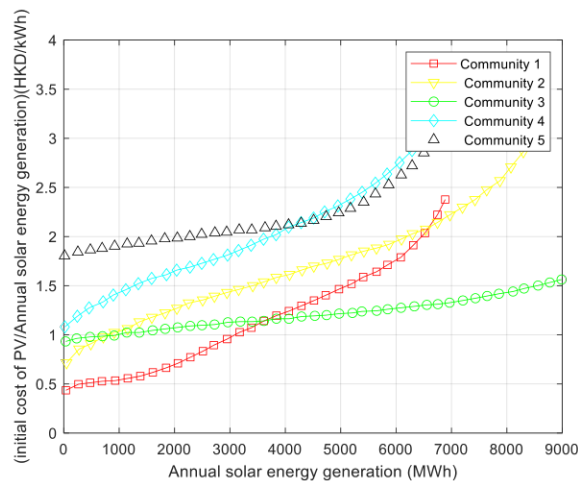


Figura 28 Variaciones de precios unitarios de energía solar en cinco comunidades cuando cambian la generación anual de la energía solar. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Los resultados mostraron que el precio unitario se incrementó con el aumento de la tasa anual de la generación de energía solar. Se incluyeron más tejados con intensidades de energía solar más bajas y áreas más pequeñas en el plan de instalación fotovoltaica lo que aumenta la generación anual de energía solar y aumenta el precio unitario. En general, los precios unitarios de energía solar de comunidad 1, comunidad 2, y comunidad 4 eran relativamente bajos. El precio unitario de la comunidad 4 aumentó rápidamente con el aumento de la energía solar anual en comparación con la comunidad 2. Esto fue causado por un gran número de azoteas con áreas pequeñas y bajas intensidades de energía solar alrededor de la comunidad 4. El precio unitario más bajo fue logrado por la comunidad 1 cuando la generación anual de energía solar fue menos de 4.300 MWh, debido a los techos de gran superficie y de intensidad de energía solar media alrededor de la comunidad 1. El

precio unitario de la comunidad 2 fue el más bajo cuando la generación anual de energía solar fue mayor que 4.300 MWh, que fue aportado por una gran cantidad de techos de alto potencial de energía solar alrededor de la comunidad 2.

6.2. Configuración del estudio de caso

Se formuló un estudio de caso en la parroquia de Quingeo del cantón Cuenca, en el sector de Puntahacienda, para ello se tomó en cuenta 5 canchas deportivas aledañas de la parroquia. Las ubicaciones y las alturas de los edificios en las comunidades vecinas se presentan en la figura 29.

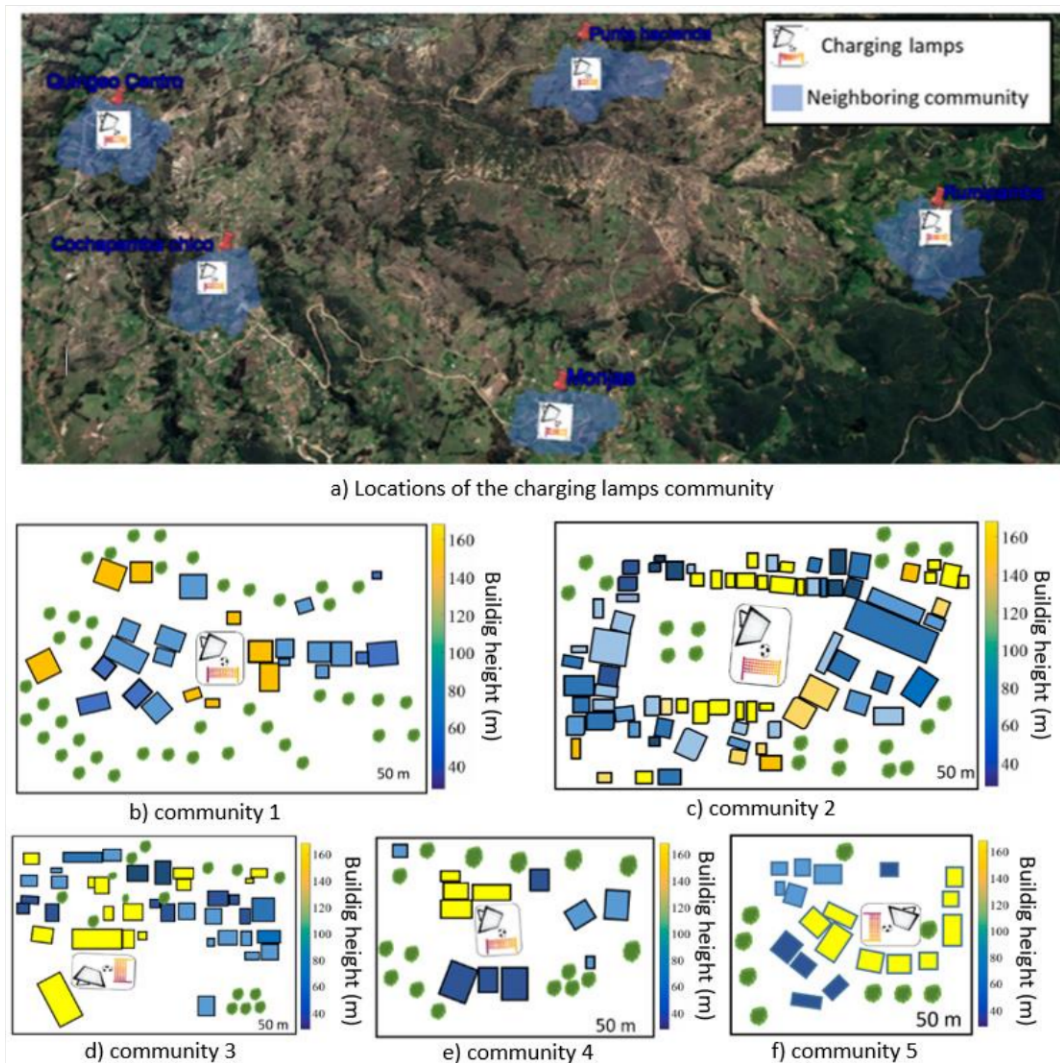


Figura 29. a) Ubicación de las canchas, (b,c,d,e,f) contornos y alturas de la edificación en las comunidades. Fuente (Miguel Sigüencia, Santiago Salto, Autor).

El estudio de caso se desarrolló para representar bien las principales cargas de los reflectores y las comunidades vecinas en la región rural de Quingeo. Las comunidades vecinas se componen principalmente de zonas residenciales.

Se establecieron los parámetros del sistema fotovoltaico en los techos después de revisar estudios previos y se calcularon los costos en función de investigaciones existentes y datos de proveedores mayoristas. Se supuso que el costo unitario del sistema de energía fotovoltaica disminuiría de forma exponencial a medida que aumenta su capacidad dentro del rango establecido. Se eligió la batería de plomo-ácido como la terminal porque es económica y fácilmente disponible, y se determinaron los parámetros a partir de estudios previos.

LAa figura 30 representa los datos meteorológicos típicos del año de Quingeo para modelar la red de las canchas con energía solar comunitaria mientras que la figura 31 representa la demanda de energía diaria para la carga de las lámparas en cada comunidad, que se determinó en función de los datos meteorológicos y el estado del reflector.

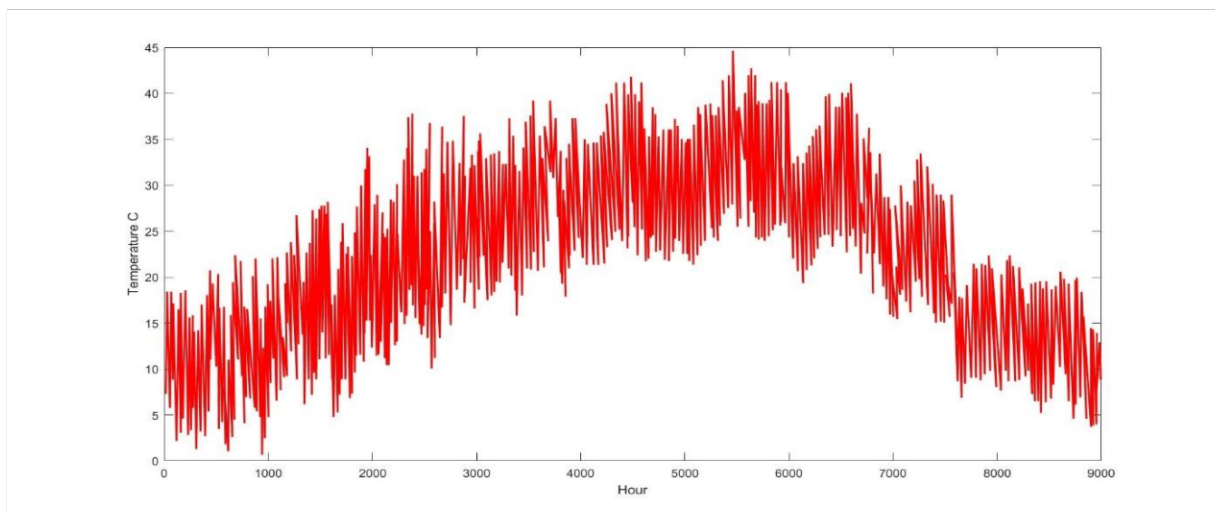


Figura 30. Datos meteorológicos típicos del año y demanda energética diaria para la carga de las lámparas: Irradiación solar horizontal. Fuente (Miguel Sigüencia, Santiago Salto, Autor

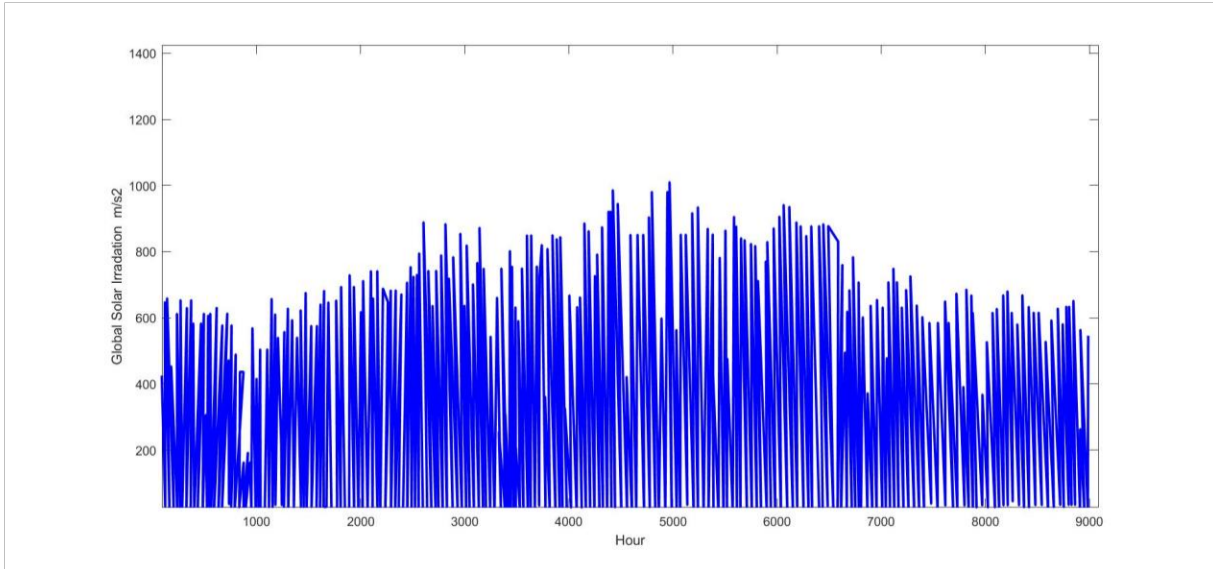
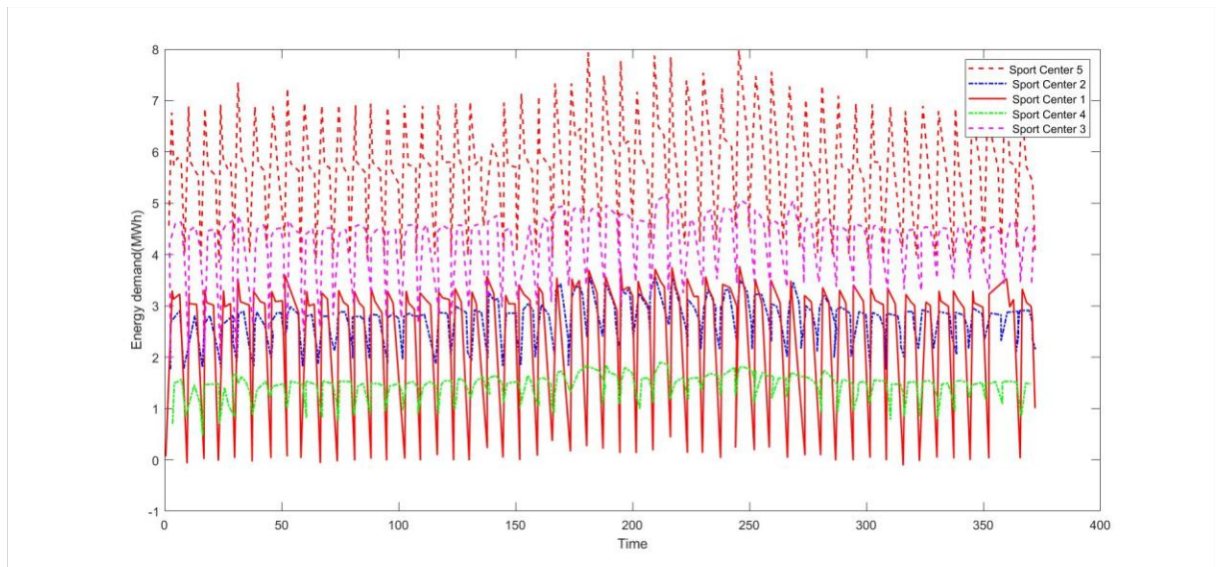


Figura 31. Demanda de energía diaria para la carga de las lámparas en cada comunidad. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).



Daily power demand of the floodlights in each terminal

Figura 32 Datos meteorológicos típicos del año y demanda energética diaria para la carga de las lámparas. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Para lograr el equilibrio energético, el SOC inicial de la batería de la lámpara en un día fue alrededor del 80% siendo el máximo SOC, y se cargó completamente al finalizar el siguiente día, la demanda diaria de energía varió regularmente sobre una base semanal.

6.3. Verificación del enfoque GA-ILP

La figura 33 representa los planos de instalación fotovoltaica de la comunidad 1 y comunidad 5 en el caso óptimo y el caso mal asignado de PV para ilustrar mejor los cambios en la generación anual de energía solar y del precio unitario.

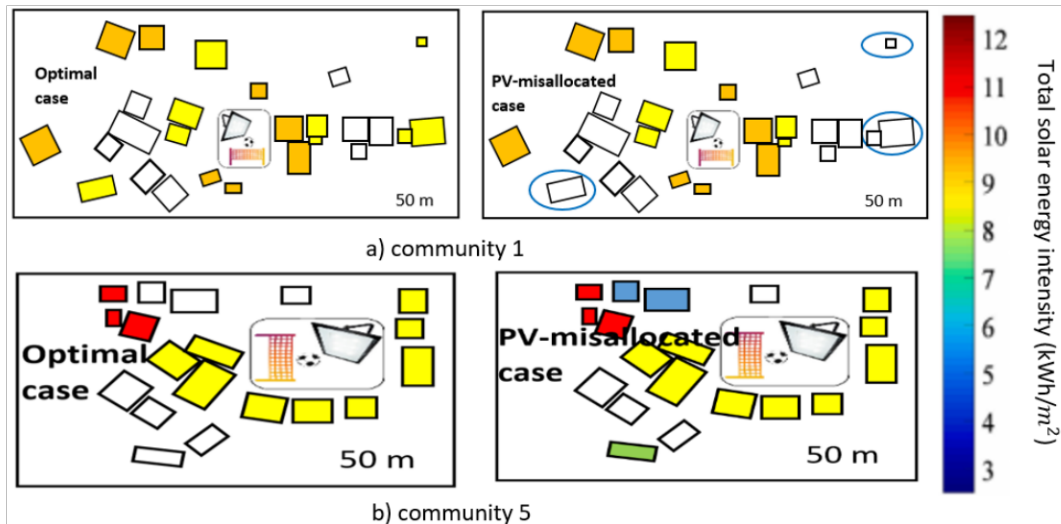


Figura 33 Planos de instalación fotovoltaica de las comunidades 1 y 5 del caso óptimo y el caso fotovoltaico desasignado. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Los resultados mostraron que los de área grande y de área media en los tejados alrededor de la comunidad 1 (resaltados con círculos azules) no estaban seleccionados en el caso de la mala asignación de energía fotovoltaica, lo que redujo la energía solar anual de generación de energía de la comunidad 1. En cambio, un gran número de tejados con intensidades de energía solar relativamente bajas alrededor de la comunidad 5 fueron seleccionados en el caso de PV mal asignado, lo que resulta en un mayor costo para alcanzar el mismo nivel de generación total anual de energía solar y satisfacer la restricción NZE. Peor aún, los tejados estaban lejos de la comunidad, lo que aumentaría el costo del cableado. Las malas asignaciones de energía fotovoltaica en tejados con bajo potencial de energía solar y tejados distantes aumentaron el precio unitario de la energía solar, prolongando así el período de amortización del caso mal asignado de PV.

La figura 34 representa la energía solar, la demanda del reflector, el intercambio de red y batería SOC de la comunidad 2 durante una semana de verano en el caso óptimo y el caso de batería mal asignada.

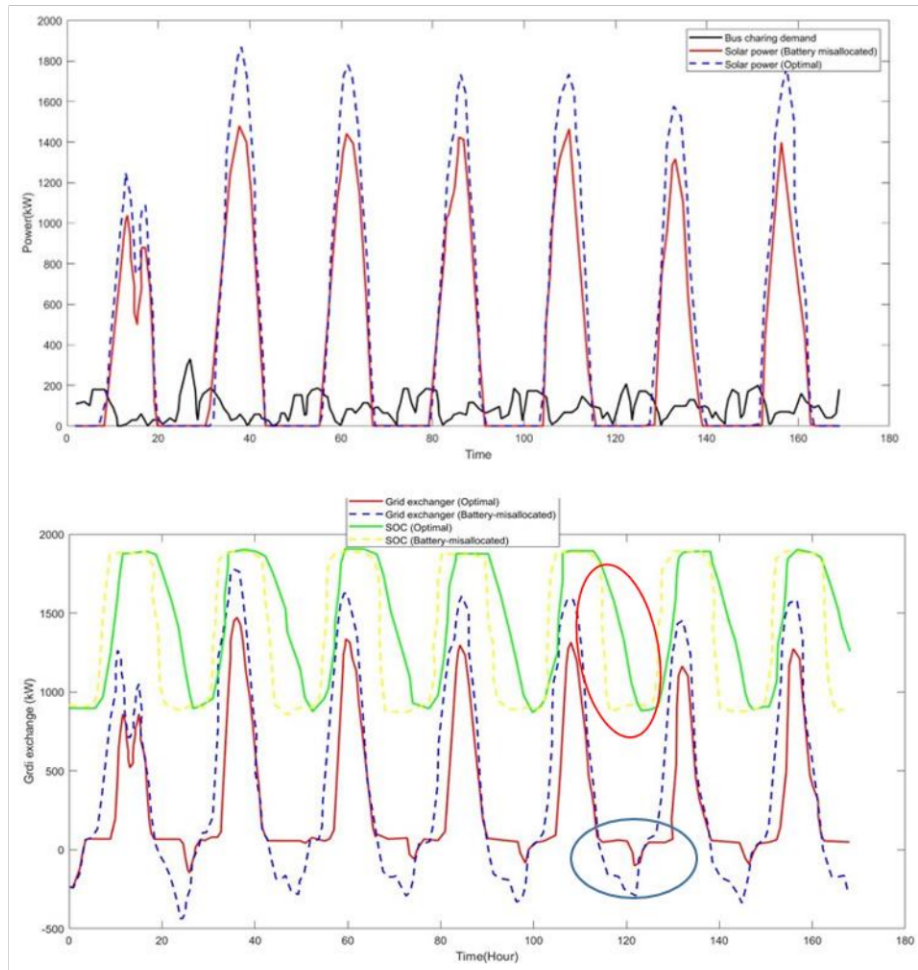


Figura 34 Energía solar, energía de carga de reflectores, intercambio de red y SOC de batería de la comunidad 2 durante una semana de verano en el caso óptimo y el caso de batería mal asignada. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Los resultados mostraron que había una gran cantidad de exceso de energía solar en ambos casos. Sin embargo, la importación de la batería mal asignada era mucho más alto que el caso óptimo (como se destaca en el círculo azul en la figura 34). Esto era resultado de la batería de tamaño insuficiente en la batería mal asignada, que se agotó rápidamente durante la descarga de la batería (como se destaca en el círculo rojo en la figura 34). La batería de tamaño insuficiente también resultó en alto poder de exportación que era económicamente desfavorable debido al bajo precio de venta de electricidad. Por lo tanto, el ahorro de costos y los ingresos por ventas de la comunidad 2 en el caso de batería mal asignada se redujeron debido a la batería de tamaño insuficiente.

La figura 35 representa la energía solar, la demanda de las lámparas, el intercambio de red y batería SOC de la comunidad 5 durante una semana de invierno en el caso óptimo y el caso de la batería mal asignada.

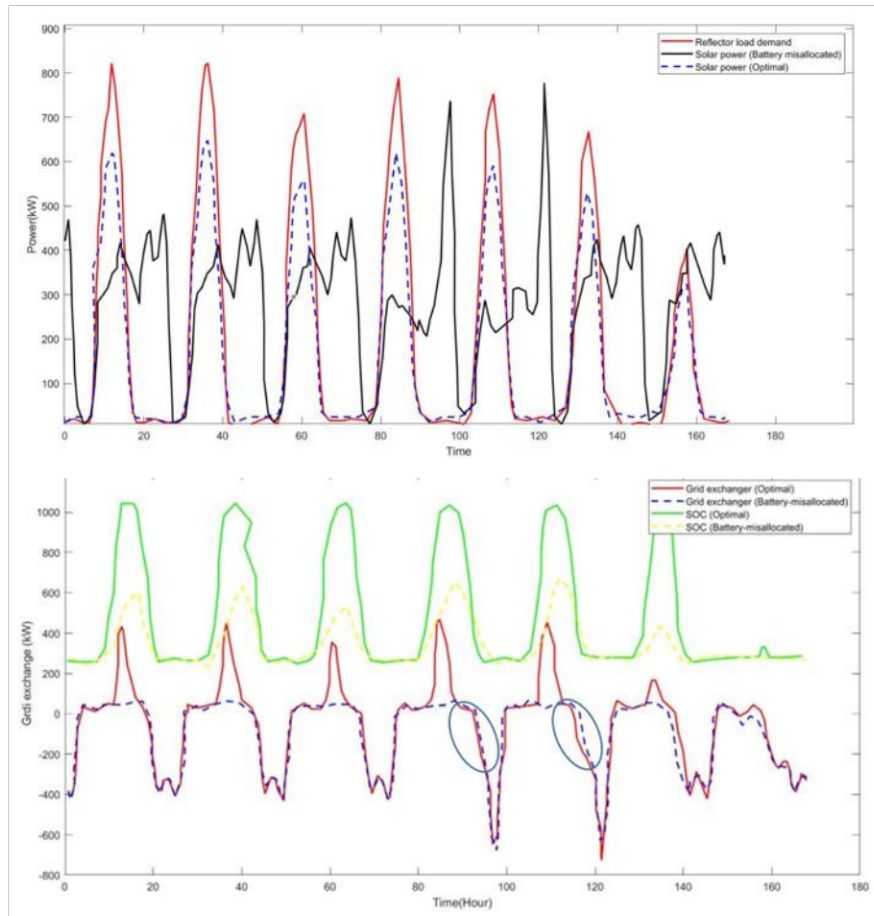


Figura 35 Energía solar, energía de carga de reflectores, intercambio de red y SOC de batería de la comunidad 5 durante una semana de invierno en el caso óptimo y el caso de batería mal asignada. Fuente (Miguel Siguencia, Santiago Salto, Autor).

Los resultados mostraron que la batería mal asignada de la batería no se cargó por completo en la semana debido a que tuvo sobredimensionamiento, esto redujo ligeramente la importación de energía (como lo destaca el círculo azul en la figura 35) y aumentó marginalmente el ahorro de energía, mientras que la gran inversión en la batería no podía justificarse. Para el óptimo caso, la batería estaba con frecuencia completamente cargada y agotada, lo que indicó que la capacidad de la batería se utilizó efectivamente para reducir la importación de energía de red para la carga de los reflectores.

CONCLUSIONES

- Para desarrollar este trabajo se necesitó recopilar datos del sitio que se va a implementar la iluminación para tener en cuenta la carga potencial que brinda la zona con la ayuda del atlas solar.
- Se realizó un estudio a las estaciones del año verano e invierno y se pudo concluir que hay un mayor ahorro de energía en el período del verano por el hecho de tener mayor iluminación diurna.
- Se identificó el panel fotovoltaico mono cristalino de 25W, sus dimensiones son 530x350x17 milímetros correspondientes al ancho, largo y espesor respectivamente. Se ocupa un reflector LED de 200 W ya que éste es resistente para las condiciones climáticas que estará expuesto, de esta manera seleccionando el más adecuado bajo los cálculos realizados para la iluminación de la cancha deportiva.
- Una vez obtenido las mediciones del área de la cancha, se realizaron los cálculos matemáticos y se pudo determinar que se requiere un flujo luminoso total de 86.419 lúmenes para iluminar 162 metros cuadrados pertenecientes al área de la cancha. Se logró un ahorro de 179 kWh por mes y 2148 kWh por año, lo que significa un ahorro de costo económico de \$193.32 dólares americanos, de esta manera se presentan los resultados de potencia según el potencial energético disponible en el sitio y la demanda del sistema de iluminación.
- El modelado en DIA-Lux 4.13 logra el promedio recomendado de 50 lux y brinda suficiente uniformidad para las actividades deportivas recreativas previstas.
- La implementación del sistema solar fotovoltaico impulsaría a utilizar energías renovables, así se puede disminuir emisiones de CO_2 y de esta forma servirá como un modelo al resto de comunidades de que es posible adoptar nuevas tecnologías.
- Luego de implementar los materiales en físico, los resultados obtenidos nos llevan a concluir que se han alcanzado los objetivos previamente planteados y aprobados para la implementación del proyecto.

RECOMENDACIONES

- Si la comunidad desea adquirir más reflectores para su uso, se sugiere hacer nuevos cálculos para ver si se necesita instalar más paneles solares según la necesidad, con el fin de aumentar la potencia instalada del sistema y garantizar un suministro de energía adecuado y eficiente.
- Verificar que los equipos estén funcionando correctamente antes de implementarlos y así se puede evitar las fallas de fábrica al momento de instalarlos.
- Realizar este tipo de proyectos en las comunidades para adquirir mayor experiencia en relación al contacto que se debe tener con las personas y el entorno comunitario, algo que solo en campo se le puede adquirir y sería un excelente complemento con los conocimientos adquiridos en la institución de educación superior.
- Se debe realizar mantenimientos a los equipos por lo menos una vez al año, brindándoles limpieza a los paneles solares y examinar los cables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akinyele, D. O., Rayudu, R. K., & Nair, N. K. C. (2015). Global progress in photovoltaic technologies and the scenario of development of solar panel plant and module performance estimation – Application in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 112-139. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.021>
- Amogpai, A. (2011). *LED lighting combined with solar panels in developing countries*. Aalto University. <https://aaltodoc.aalto.fi:443/handle/123456789/5057>
- Apraez Cando, J. A., & Armijos Yalama, C. P. (2020). Modelado y simulación para el abastecimiento de energía eléctrica mediante sistemas solares a monumentos. Caso de estudio Punta Hacienda, Quingeo. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10694>
- Arrillaga, J., Watson, N., & Liu, Y. (2007). *Flexible power transmission the HVDC Options*,. John Wiley and Son Ltda
- Beccali, M., Bonomolo, M., Leccese, F., Lista, D., & Salvadori, G. (2018). On the impact of safety requirements, energy prices and investment costs in street lighting refurbishment design. *Energy*, 165, 739-759. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.011>
- Beccali, M., Bonomolo, M., Lo Brano, V., Ciulla, G., Di Dio, V., Massaro, F., & Favuzza, S. (2019). Energy saving and user satisfaction for a new advanced public lighting system. *Energy Conversion and Management*, 195, 943-957. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.070>
- Bordons, C., García-Torres, F., & Valverde, L. (2015). Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 12(2), 117-132. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.03.001>
- Caicedo, E. L. P. (2020). DISEÑO DE ILUMINACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL CAMPO DEPORTIVO MULTIPROPÓSITO EN LA UDFJC SEDE FAMARENA. *Boletín Semillas Ambientales*, 14(1), 25-38.

- Campisi, D., Gitto, S., & Morea, D. (2018). Economic feasibility of energy efficiency improvements in street lighting systems in Rome. *Journal of Cleaner Production*, 175, 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.063>
- Castro, M., Jara, A. J., & Skarmeta, A. F. G. (2013). Smart Lighting Solutions for Smart Cities. *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 1374-1379. <https://doi.org/10.1109/WAINA.2013.254>
- Castells, X. (2012). *Energías Renovables*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Google Maps. (s. f.). Google Maps. Recuperado 9 de marzo de 2023, de <https://www.google.com.ec/maps/@-3.028536,-78.9049361,425m/data=!3m1!1e3?hl=es>
- Icaza, D., Borge-Diez, D., & Galindo, S. P. (2022). Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador. *Renewable Energy*, 182, 314-342. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.126>
- Instituto Tecnológico de Canarias S.A. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias S.A.
- Kansongue, N., Njuguna, J., & Vertigans, S. (2022). An assessment of renewable energy development in energy mix for Togo. *International Journal of Sustainable Energy*, 41(8), 1037-1056. <https://doi.org/10.1080/14786451.2021.2023150>
- Lema Sanchez, L. C., Herrera Carrion, M. E., Valladares Lopez, K. I., Pantoja Vaca, J. W., Mancheno Herrera, A. C., Mollocana Lara, J. G., & Sánchez Carrión, A. (2019, febrero 6). *Sistema Automatizado de Alumbrado Público Utilizando Energía Solar Fotovoltaica y Ahorro Energético: V Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad (CITIS 2018-2019)*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17843>
- Lobão, J. A., Devezas, T., & Catalão, J. P. S. (2015). Energy efficiency of lighting installations: Software application and experimental validation. *Energy Reports*, 1, 110-115. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2015.04.001>

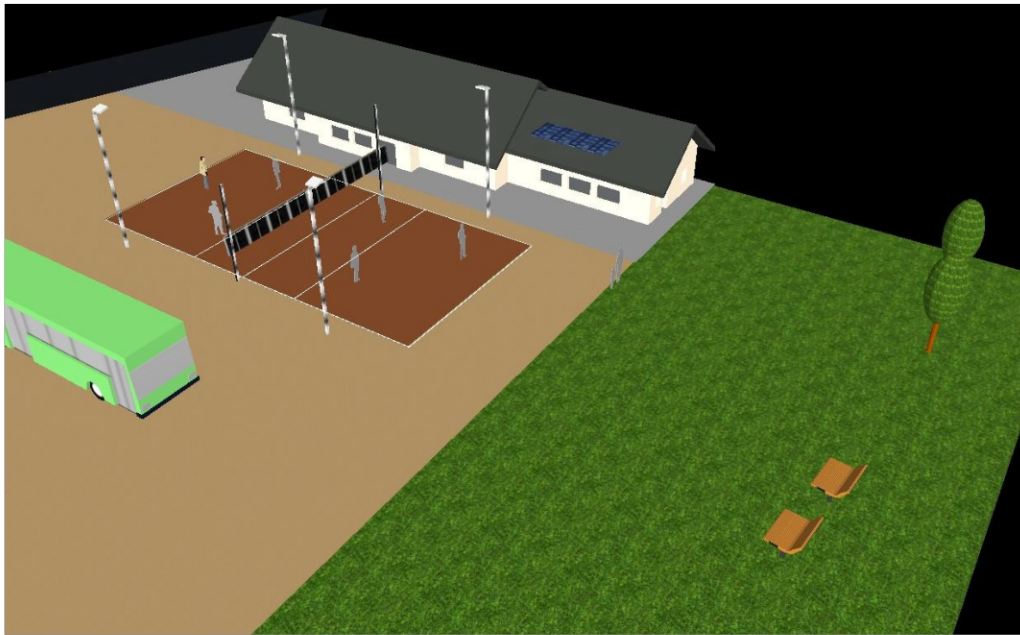
- Mera Rodríguez, J. A., & Pastuña Sigcha, R. F. (2022). *“Implementación de un sistema de luminarias ornamentales alimentadas por un sistema fotovoltaico en la área recreativa en la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná”*. [BachelorThesis, Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9168>
- Muñoz Cano, F. (2021). Propuesta de iluminación tipo LED y diseño de sistema fotovoltaico para el edificio IME de la UDEP. *Universidad de Piura*. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4861>
- Naciones Unidas. (2 de abril de 2023). *Energías Renovables: energías para un futuro más seguro*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- Neira González, R. H., & Velecela Zhindón, M. V. (2014). *Estudio de factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía solar fotovoltaica para el sector de Garauzhi de la parroquia Quingeo perteneciente a la ciudad de Cuenca* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6756>
- Pode, R. (2010). Solution to enhance the acceptability of solar-powered LED lighting technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1096-1103. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.006>
- Portoviejo Brito, J. M. (2018). Análisis de factibilidad para la implementación de sistemas híbridos (Eólico-fotovoltaico) en las inmediaciones del centro patrimonial de Quingeo y zona arqueológica Curiqinga. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7949>
- Ren, H., Ma, Z., Ming Lun Fong, A., & Sun, Y. (2022). Optimal deployment of distributed rooftop photovoltaic systems and batteries for achieving net-zero energy of electric bus transportation in high-density cities. *Applied Energy*, 319, 119274. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119274>

- Ren, H., Xu, C., Ma, Z., & Sun, Y. (2022). A novel 3D-geographic information system and deep learning integrated approach for high-accuracy building rooftop solar energy potential characterization of high-density cities. *Applied Energy*, 306, 117985. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117985>
- República del Ecuador. (Marzo de 2019). *Primera Contribución determinada a nivel nacional para el acuerdo de París bajo la convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Primera%20NDC%20Ecuador.pdf>
- Rodríguez Monoga, A. R. (2021). Energía solar fotovoltaica para la iluminación de la cancha de fútbol del corregimiento de Cornejo Norte de Santander. *instname:Universidad Antonio Nariño*. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2402>
- Saguay Mejía, C. R., & Gutiérrez Miranda, C. J. (2021). *DISEÑO DE UNA PROPUESTA DEL USO DE ENERGIA SOLAR COMO FUENTE FOTOVOLTAICA EN INSTALACIONES ECO TURISTICAS UBICADA EN EL COMPLEJO "FINCA MAMA ANGELITA" DEL CANTON NARANJAL* [BachelorThesis]. <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5593>
- Saldaña Fajardo, L. M., & Brito Ávila, R. B. (2021). Estudio para la implementación de un sistema de abastecimiento de energía fotovoltaica para la fachada de la iglesia y casa patrimonial de Quingeo. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10737>
- Salto Uzhca, Á. B. (2018). Análisis de factibilidad para el uso de la energía fotovoltaica aislada en sistemas de iluminación en la Comunidad Puntahacienda de Quingeo. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8210>
- Serrano-Tierz, A., Martínez-Iturbe, A., Guarddon-Muñoz, O., & Santolaya-Sáenz, J. L. (2015). Analysis of energy saving in industrial LED lighting: A case study. *DYNA*, 82(191), 231-239. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n191.45442>

- Urgilés Bermeo, E. X. (2019). Diseño, modelado e implementación de un sistema fotovoltaico para la capilla de la comunidad Macas alto de la parroquia Quingeo del cantón Cuenca. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8250>
- Vargas, C., Guevara, D., & Ríos, A. (2014). Viabilidad económica del control de la iluminación fotovoltaica en autopistas del Ecuador. *Maskana*, 5, 37-52.
- Villamar, D., Soria, R., Rochedo, P., Szklo, A., Imperio, M., Carvajal, P., & Schaeffer, R. (2021). Long-term deep decarbonisation pathways for Ecuador: Insights from an integrated assessment model. *Energy Strategy Reviews*, 35, 100637. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100637>

ANEXOS

ANEXO A: IMAGENES DEL SOFTWARE DIALUX



ANEXO B: IMAGENES DE LA IMPLEMENTACIÓN



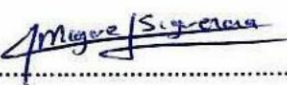
ANEXO C: IMAGENES DE LA ILUMINACION OBTENIDA



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Miguel Salvador Sigüencia Cárdenas** y **Santiago Andrés Salto Chicaiza** portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0105913461** y **0105954507**. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE UNA CANCHA DEPORTIVA DE LA COMUNIDAD DE PUNTAHACIENDA DE QUINGEO”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **18 de abril de 2023**

F: 
Miguel Salvador Sigüencia Cárdenas
0105913461

F: 
Santiago Andrés Salto Chicaiza
0105954507