



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN MONUMENTOS TURISTICOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

AUTORES: CRISTIAN FERNANDO MOROCHO QUISHPI

JOSEPH PAUL CORREA HEREDIA

DIRECTOR: MSc. ING. DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ

CUENCA - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

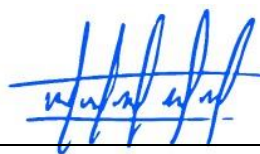
DECLARACIÓN

Nosotros, Joseph Paul Correa Heredia y Cristian Fernando Morocho Quishpi; declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximimos expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Joseph Paul Correa Heredia



Cristian Fernando Morocho Quishpi

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Joseph Paul Correa Heredia y Cristian Fernando Morocho Quishpi, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Ing. Daniel Orlando Icaza Álvarez MsC.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Sandra Y Hugo, por ser el pilar fundamental y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mis abuelos, que estuvieron conmigo siempre, a mis tíos Rosita y Bernardo, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestos a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A mis hermanos quien han sido mi motivación.

Joseph Paul Correa Heredia

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado primero a Dios, quien me bendice y guía mis pasos para seguir adelante.

A mis padres Segundo Morocho y Elvira Quishpi, por enseñarme el valor de luchar día a día para cumplir con mis sueños, por enseñarme que rendirse no es una opción, porque con su perseverancia, esfuerzo, sacrificio y amor supieron salir adelante a pesar de todos los momentos difíciles que tuvimos que afrontar, brindándonos apoyo incondicional día a día, siendo un ejemplo a seguir para mí y para mis hermanos en cada etapa de nuestras vidas.

A mis hermanos Catalina, Rene y Mirian, por estar siempre acompañándome en todos mis sueños y metas, por la paciencia y apoyo incondicional brindado durante todo este proceso.

A mis sobrinos que han estado acompañándome en todo el transcurso de esta etapa siendo una motivación para seguir adelante.

Cristian Fernando Morocho Quishpi

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres, que han sido ejemplo y me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus consejos.

Agradezco especialmente a mis tíos Rosita y Bernardo quienes con su ayuda, cariño y comprensión han sido parte fundamental de mi vida.

Al Ing. Daniel Icaza Álvarez, director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mi compañero Cristian porque sin el equipo que formamos, no habiéramos logrado esta meta.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Joseph Paul Correa Heredia

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser la luz a seguir en cada momento de mi vida, por la fuerza y la paciencia que me dio en los momentos más difíciles para poder cumplir con mis objetivos.

Gracias a mis padres Segundo y Elvira, por ser un pilar fundamental en la consecución de mis objetivos, por creer en mí y en mis sueños, gracias por todos los consejos brindados, por su esfuerzo incansable, por impulsarme a continuar con mis estudios, es por ustedes que he llegado a ser un profesional, estaré eternamente agradecido, gracias por todo.

A mi familia que con su cariño, esfuerzo y sacrificio siempre me han brindado todo su apoyo incondicional en todos los ámbitos de la vida, siendo mi inspiración y motivación para poder continuar superándome y seguir cumpliendo con mis objetivos.

A mis amigos quienes me han apoyado en todo momento y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en mi carrera universitaria y vida personal.

Al Ing. Daniel Icaza Álvarez, director de tesis, por toda su predisposición y enseñanza brindada en la realización de este trabajo de investigación.

Cristian Fernando Morocho Quishpi

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se desarrolló el estudio e instalación de un sistema fotovoltaico en la comunidad de Quingeo, con la finalidad de analizar y evaluar el desempeño del mismo, buscando obtener una mejor eficiencia de conversión de energía solar a energía eléctrica. Para realizar el estudio, se ha desarrollado una metodología basada en escenarios fotovoltaicos, así como también el uso de distintos simuladores que cuentan con una base de datos de temperatura, radiación e irradiación mismos que han facilitado su cálculo en función de las diferentes hipótesis realizadas. El diseño y construcción del sistema fotovoltaico tiene como finalidad alimentar un sistema de baterías, las cuales podrán dotar de energía a luminarias mismas que garantizarán una iluminación continua al monumento. En esta tesis se muestra todo el proceso constructivo, así como también cada una de las etapas que conllevaron la construcción de este proyecto, al mismo tiempo con la realización de este trabajo teórico-práctico se pretende fomentar el turismo en zonas rurales.

Palabras clave: energías renovables, radiación solar, simulaciones en Matlab, sistema fotovoltaico

ABSTRACT

In this research work, the study and installation of a photovoltaic system were developed in the community of Quingeo to analyze and evaluate its performance, seeking to obtain better efficiency in the conversion of solar energy to electric energy. To conduct the study, a methodology based on photovoltaic scenarios has been developed, as well as the use of different simulators that have a database of temperature, radiation, and irradiation, which have facilitated its calculation according to the different hypotheses made. The design and construction of the photovoltaic system are intended to feed a system of batteries, which will be able to provide energy to luminaries that will guarantee a continuous illumination of the monument. This thesis shows the entire construction process, as well as each of the stages that led to the creation of this project, at the same time with the realization of this theoretical and practical work, is aimed at promoting tourism in rural areas.

Keywords: renewable energies, solar radiation, matlab simulations, photovoltaic system

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD	ii
CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABLAS	xvii
LISTA DE ANEXOS	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPITULO 1.....	xx
1. INTRODUCCIÓN.....	xx
1.1 Objetivos	xx
<i>Objetivo general</i>	xx
<i>Objetivos específicos</i>	xx
1.2 Alcance.....	xx
1.3 Justificación	xxi
CAPITULO 2.....	1
2. MARCO TEÓRICO	1
2.1 Energía solar en el Ecuador vista desde el satélite copernicus.....	1
2.1.1 Que es Copernicus.....	1
2.1.2 El sol como fuente de energía.	2
2.1.3 Radiación solar en el Ecuador vista desde Copernicus.	2
2.2 Energías renovables.....	7
2.2.1 Tipos de energías renovables.....	8
2.3 Aplicaciones de la energía solar	10
2.3.1 Iluminación.	10
2.3.2 Comunicaciones.	11
2.3.3 Experimentos científicos.....	11
2.3.4 Sistemas de alarma.	11
2.3.5 Bombeo de agua.	11
2.3.6 Estaciones de carga de vehículos.	11

2.3.7	Protección catódica de la energía solar.	11
2.3.8	Sistemas de refrigeración.	12
2.3.9	Sistemas de agua caliente sanitaria.	12
2.4	Desafíos de la energía renovable	12
2.5	La energía solar como fuente de desarrollo en sectores pobres	13
2.5.1	Electrificación rural con energías renovables en el Ecuador.	14
CAPITULO 3.....		15
3.	DISEÑO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	15
3.1	Diseño general del sistema solar fotovoltaico aplicado a monumentos.....	15
3.1.1	Componentes de una Instalación solar fotovoltaica.	15
3.1.2	Topología de la Instalación Solar Fotovoltaica.....	22
3.2	Puntos específicos que deben contemplarse al diseñar un sistema solar fotovoltaico	23
3.2.1	Tipo de sistema de conexión.	23
3.2.2	Orientación.	25
3.2.3	Ubicación.....	25
3.2.4	Combinación de paneles.	25
3.3	Inclinación del panel solar y análisis de sombras.....	26
3.3.1	Tipos de sistema de instalación fotovoltaica.	26
3.3.2	Inclinación del panel solar.....	27
3.3.3	Análisis de sombras.....	28
3.4	Curvas voltaje-corriente y voltaje-potencia	29
3.4.1	Curva Corriente-Voltaje.	29
3.4.2	Curva Voltaje-Potencia.	32
3.5	Seguidor del punto de máxima potencia MPPT	33
3.5.1	Fases de carga de las baterías.....	35
3.5.2	Conexión del MPPT con el sistema fotovoltaico.	36
3.5.3	Ventajas y desventajas.....	37
3.5.4	Métodos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).....	37
CAPITULO 4.....		39
4.	MODELADO Y SIMULACIÓN	39
4.1	Modelado de un panel solar considerando la irradiación solar y la temperatura	39
4.1.1	Variables.....	39
4.1.2	Simuladores.	39
4.2	Irradiación solar y temperatura	43
4.2.1	Hora solar pico HSP.	44

4.3 Modelo matemático utilizando software especializado.....	44
4.3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	48
4.4 Datos de entrada y curvas de respuesta	50
4.4.1 Curvas Características I – V y P – V del panel solar.	51
4.5 Diseño del monumento.....	52
4.5.1 Perspectiva del diseño modelado en 3D (AutoCAD).	52
4.5.2 Diseño, modelado y simulación en Dialux.	54
4.6. Modelado matemático de la batería.....	56
4.6.1 Caracterización de las baterías.	56
4.6.2 Modelamiento de la batería.....	58
4.7 Iluminación led	59
4.7.1 Características del led.....	59
4.7.2 Consumo	59
4.7.2 Durabilidad.....	60
CAPÍTULO 5.....	61
5. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO	61
5.1 Características de los equipos utilizados	61
5.1.1 Panel solar.	61
5.1.2 Baterías.	61
5.1.3 Reflector.	62
5.1.4 Conductor.	63
5.2 Resultados constructivos del monumento	64
5.2.1 Proceso constructivo.....	64
5.2.2 Montaje del Sistemas Fotovoltaico y luminarias.....	67
5.4 Comparaciones entre las simulaciones efectuadas en dialux y las mediciones en campo	69
5.4.1 Valores simulados y medidos en la parte superior del monumento.	69
5.4.2 Valores simulados y medidos en la parte intermedia del monumento.	70
5.4.3 Valores simulados y medidos en la parte inferior del monumento.	71
5.4.4 Curva obtenida con el luxómetro.....	72
5.4.5 Análisis de resultados.	72
5.5 Resultados a nivel de voltaje, corriente y tiempos de operación del sistema	73
5.5.1 Voltaje generado por el panel solar.....	73
5.5.2 Corriente generada por el panel solar.	75
5.5.3 Tiempo de duración de la batería.....	76
5.6 Aspecto ecológico y visual	76

5.7. Análisis económico.....	77
5.7.1 Inversión total del sistema.....	77
5.7.2 Valores de consumo eléctrico de la red de Distribución	77
5.7.3 Análisis costo beneficio.....	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	81
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS.....	84

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Servicios disponibles por el satélite copernicus.....	1
Fig. 2 Interfaz de la Aplicación SoDa de Copernicus	3
Fig. 4 Curva de Irradiancia.....	4
Fig. 5 Interfaz de la aplicación McClear de Copernicus.....	5
Fig. 6 Irradiación en el plano horizontal en la parte superior de la atmósfera	5
Fig. 7 Irradiación difusa de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo	6
Fig. 8 Irradiación del haz de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo	6
Fig. 9 Irradiación global de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo	7
Fig. 10 Fuentes de energía renovable	8
Fig. 11 Aplicaciones de la Energía Solar.....	10
Fig. 12 Sector Rural con Energía Fotovoltaica	13
Fig. 13 Sistema fotovoltaico autónomo para iluminación publica	14
Fig. 14 Vista frontal de un panel solar.....	15
Fig. 15 Vista posterior de un panel solar	16
Fig. 16 Regulador de voltaje	17
Fig. 17 Batería	18
Fig. 18 Diagrama proceso químico de la batería.....	19
Fig. 19 Inversor.....	21
Fig. 20 Topología de la instalación del sistema fotovoltaico	22
Fig. 21 Diagrama tipos de sistemas fotovoltaicos	23
Fig. 22 Diagrama de conexión on-grid	24
Fig. 23 Diagrama de conexión off-grid	24
Fig. 24 Orientación del panel solar.....	25
Fig. 25 Ubicación panel solar.....	25
Fig. 26 Inclinação del panel solar	27
Fig. 27 Coeficiente de sombreado	28
Fig. 28 Curva I-V de un panel solar.....	30
Fig. 29 Curvas I-V de un panel solar en función de la irradiancia.....	31
Fig. 30 Curvas I-V de un panel solar en función de la temperatura	31
Fig. 31 Curva P-V de un panel solar	32
Fig. 32 Curvas P-V de un panel solar en función de la temperatura.....	33
Fig. 33 Punto de potencia máxima.....	33
Fig. 34 Diagrama seguidor del punto de máxima potencia (MPPT).....	34
Fig. 35 Energía generada con PWM y MPPT	35

Fig. 36 Fases en la carga de una batería.....	36
Fig. 37 Esquema de conexión del MPPT	36
Fig. 38 Mapa de irradiación solar vista desde solargis	40
Fig. 39 Irradiación promedio por mes.....	41
Fig. 40 Temperatura promedio por mes	41
Fig. 41 Irradiación promedio por mes.....	42
Fig. 42 Temperatura promedio por mes	43
Fig. 43 Atlas solar del Ecuador – GHI Anual	43
Fig. 44 Variación mensual de la hora pico	44
Fig. 45 Circuito equivalente de una célula fotovoltaica.....	44
Fig. 46 Composición n-p de una célula fotovoltaica	45
Fig. 47 Diagrama de Bloques Panel Solar	50
Fig. 48 Curva potencia vs voltaje	51
Fig. 49 Curva corriente vs voltaje.....	51
Fig. 50 Diseño arquitectónico.....	52
Fig. 51 Diseño y medidas de las vasijas	53
Fig. 52 Diseño y medidas de la base	54
Fig. 53 Perspectiva frontal del diseño	54
Fig. 54 Perspectiva frontal del diseño en Dialux.....	55
Fig. 55 Perspectivas del diseño en Dialux.....	55
Fig. 56 Perspectiva frontal del diseño simulado	56
Fig. 57 Diagrama de bloques modelado de la batería	58
Fig. 58 Curva del SOC de la batería	59
Fig. 59 Paneles solares utilizados.....	61
Fig. 60 Batería LiFePo4	62
Fig. 61 Reflector led 200 W.....	63
Fig. 62 Conductor eléctrico	63
Fig. 63 Cimientos de la estructura.....	64
Fig. 64 Pared circular.....	65
Fig. 65 Estructura superior.....	65
Fig. 66 Armado de las vasijas	66
Fig. 67 Ubicación de las vasijas.....	66
Fig. 68 Soporte para paneles solares	67
Fig. 69 Ubicación de paneles solares	68
Fig. 70 Ubicación de luminarias	68
Fig. 71 Valores simulados y medidos en la parte superior del monumento	69

Fig. 72 Valores simulados y medidos en la parte intermedia del monumento	70
Fig. 73 Valores simulados y medidos en la parte inferior del monumento	71
Fig. 74 Curva de niveles de iluminación.....	72
Fig. 75 Medición voltaje generado por el sistema fotovoltaico.....	73
Fig. 76 Curva del voltaje generado	74
Fig. 77 Medición corriente generada por el sistema fotovoltaico	75
Fig. 78 Curva de corriente generada.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de paneles solares	17
Tabla 2. Tipos de reguladores	18
Tabla 3 Información del Proyecto.....	40
Tabla 4 Especificaciones técnicas panel solar	47
Tabla 5 Cuadro de cargas	48
Tabla 6 Dato iniciales del sistema fotovoltaico	48
Tabla 7 Calculo de paneles solares a utilizar	49
Tabla 8 Calculo de baterías a utilizar	49
Tabla 9 Resultados simulados y experimentales del sistema de iluminación	72
Tabla 10 Niveles de voltaje generados	73
Tabla 11 Niveles de corriente generada.....	75
Tabla 12 Costo total de los componentes	77
Tabla 13 Costo mensual de consumo eléctrico.....	77
Tabla 14 Cálculo de utilidad generada.....	78

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Datos de radiación solar en Quingeo, obtenidos con la aplicación copernicus ...	84
ANEXO 2. Código Matlab curvas corriente voltaje y potencia voltaje.....	86
ANEXO 3. Código Matlab efecto de la temperatura	87
ANEXO 4. Código Matlab efecto de la radiación solar	88
ANEXO 5. Datos de radiación solar y temperatura en Quingeo, obtenidos con la aplicación solargis	90
ANEXO 6. Diseño realizado en dialux	101
ANEXO 7. Construcción del monumento e implementación del sistema fotovoltaico.....	107
ANEXO 8. Proforma	110

INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo el estudio de la energía solar ha experimentado diversos cambios considerables ya que esta es una energía renovable y tiene un bajo impacto a nivel ambiental, por eso es necesario e importante buscar alternativas en el tema de generación de energías, dejando a un lado el uso de combustibles fósiles, en este caso nuestro país Ecuador cuenta con los recursos suficientes haciendo posible el uso y aplicación de estos sistemas.

Este trabajo teórico-práctico está enfocado primordialmente a las posibilidades y viabilidades de poder dotar de energía eléctrica a sectores rurales, a la vez en este caso fomentando el turismo en lugares aledaños a las cabeceras parroquiales.

En el primer capítulo se detalla cada uno de los objetivos de este proyecto y justificación del mismo.

En el capítulo 2 se realiza el estudio, recopilación de datos e información para poder determinar la factibilidad del uso de este tipo de energía renovable en el sector.

En el capítulo 3, se estudia el desarrollo y todos los componentes que interfieren en la implementación de un sistema fotovoltaico, además se detalla los tipos y sistemas de conexión del mismo.

El capítulo 4 está enfocado en el análisis de los resultados obtenidos mediante las simulaciones para poder obtener los cálculos del número de equipos necesarios para la instalación y montaje del sistema solar fotovoltaico.

En el quinto y último capítulo se muestra todo el proceso constructivo e implementación del sistema fotovoltaico, para finalmente comparar las simulaciones con los resultados obtenidos al final del montaje.

La elaboración de este trabajo teórico-práctico es de gran importancia para la sociedad en general ya que aporta al turismo y motiva a la utilización de fuentes de energías renovables como la energía solar fotovoltaica.

Una vez cumplidos los objetivos propuestos con la implementación del sistema fotovoltaico se puede determinar que los resultados son satisfactorios ya que se obtuvo resultados equivalentes a los desarrollados en la simulación.

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

Objetivo general

Implementar y promover el uso de una de las fuentes de energía renovable como es la energía solar fotovoltaica, misma que es aplicable en distintas áreas en el sector eléctrico siendo en nuestro caso para la iluminación de monumentos turísticos con un mínimo impacto ambiental con relación a las fuentes convencionales de energía, a través del dimensionamiento, diseño e instalación del sistema de paneles solares.

Objetivos específicos

- Promover el uso de fuentes de energía renovable.
- Determinar la factibilidad del uso de energía solar fotovoltaica.
- Reducir el uso de combustibles fósiles generando conciencia ambiental.
- Analizar los parámetros de irradiación y temperatura en la parroquia Quingeo.
- Diseñar e implementar un sistema de energía solar fotovoltaica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales.

1.2 Alcance

El presente proyecto de investigación se centra en el diseño e implementación de sistemas de iluminación alimentados a través de energía solar fotovoltaica, el cual es desarrollado en la parroquia Quingeo. El proyecto está conformado por un sistema solar fotovoltaico autosustentable, el cual suministra energía eléctrica a dos reflectores led para la iluminación de un monumento turístico. Al integrar este proyecto en zonas rurales se aprovechará una energía renovable sin causar impacto negativo al ecosistema al no requerirse redes de distribución eléctrica, además se potencia el turismo con este tipo de proyectos socioculturales.

Se realizará estudios con relación a la temperatura, irradiancia e irradiación a través de software especializados, además se analizarán todas las variables antes mencionadas, lo que permitirá la obtención de gráficas de tendencias con una amplia muestra de hasta 20 años, lo que permitirá determinar la factibilidad de la implementación del sistema fotovoltaico propuesto.

1.3 Justificación

En la provincia del Azuay existen ciertas zonas rurales que no cuentan con un sistema de distribución eléctrica, ya sea por falta de recursos económicos o por ser sectores de gran valor cultural donde no es permitido el tendido de redes eléctricas debido a que contaminan las zonas que son fuentes hídricas de la población, por lo tanto, se desarrolla esta investigación con el fin de proponer fuentes de generación eléctrica amigables con el medio ambiente y reducir el uso de combustibles fósiles.

Gracias a la ubicación geográfica la provincia del Azuay, cuenta con un alto índice de radiación solar, por lo cual se ha determinado que la energía renovable más favorable a implementar es la energía solar fotovoltaica, la cual permitirá alimentar sistemas de iluminación de monumentos existentes o a la vez incentivar a la colocación de los mismos, siendo un proyecto de pequeña a mediana escala mismo que puede ser replicado en distintas áreas culturales donde no se quiera afectar el diseño patrimonial como son fachadas de Iglesias, casas patrimoniales, etc.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Energía solar en el Ecuador vista desde el satélite copernicus

2.1.1 Que es Copernicus.

Copernicus ha sido diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de los usuarios. Basados en observaciones satelitales e in situ, los servicios de Copernicus brindan datos casi en tiempo real a nivel global que también pueden usarse para necesidades locales y regionales, para ayudarnos a comprender mejor nuestro planeta y administrar de manera sostenible el medio ambiente en el que vivimos. Estas actividades de valor agregado se simplifican a través de seis líneas temáticas de servicios de Copernicus. (Copernicus, 2020)



Fig. 1 Servicios disponibles por el satélite copernicus

Fuente: www.copernicus.eu/es

En este caso se utilizará la plataforma de Monitoreo de la Atmósfera de Copernicus (CAMS), misma que proporciona datos e información continua sobre todos los elementos y factores que conforman la atmósfera, además tiene la capacidad de pronosticar con unos días de anticipación el comportamiento de los principales elementos que inciden en la intensidad de radiación solar que atravesará a la atmósfera, lo cual para el caso de un sistema fotovoltaico nos permite saber cuál será la potencia total generada en los días posteriores.

La plataforma de monitoreo de la atmósfera Copernicus también analiza sistemáticamente los registros de datos retrospectivos de los últimos años y admite diversas aplicaciones con una variedad de servicios que incluyen monitoreo ambiental, energías renovables, meteorología y climatología, centrándose en cinco áreas principales. (Copernicus, 2020)

- Calidad del aire y composición atmosférica;
- Capa de ozono y radiación ultravioleta;
- Emisiones y flujos superficiales;
- Radiación solar;
- Forzamiento climático.

A través de estas áreas se recopila la información diaria sobre la composición atmosférica mundial mediante el seguimiento y la previsión de componentes como los gases de efecto invernadero, gases reactivos, ozono y aerosoles, proporcionando a las organizaciones públicas y privadas involucradas en el uso de la energía solar información adecuada y precisa sobre los recursos que tiene la tierra como es la radiación solar, misma que es de gran importancia en el campo de la salud, la agricultura y las energías renovables.

2.1.2 El sol como fuente de energía.

Con un diámetro de 1,4 millones de kilómetros el Sol está formado por distintos tipos de elementos en estado gaseoso entre ellos destaca el hidrogeno, en su interior se presentan grandes presiones que lograr crear temperaturas de varios millones de grados que se producen de manera espontánea e ininterrumpida, así logrando dar origen a la energía solar, que se disipa con una potencia de 37.10^{14} TW. (FRIEDRICH, 1988)

Por otro lado, esta energía corresponde a una radiación electromagnética formada por un conjunto de longitudes de onda (λ), cuya velocidad de propagación es de 300.000 km/s. La descomposición de esta radiación origina el llamado espectro solar, el cual está formado por tres bandas de longitudes de onda, comprendidas entre los siguientes valores:

- Ultravioleta (UV): $\lambda < 0,35$ m
- Visible: $0,35 < \lambda < 0,75$ m
- Infrarrojo (IR): $\lambda > 0,75$ m

Cada longitud de onda transporta una cantidad de energía, siendo el valor máximo a 0,47%, es decir, dentro de la zona visible del espectro solar. En conjunto, la radiación visible transporta el 47% de la energía solar, la radiación IR, el 46%, mientras que la radiación UV transporta el 7% restante. (FRIEDRICH, 1988)

2.1.3 Radiación solar en el Ecuador vista desde Copernicus.

Por los complejos fenómenos de absorción, reflexión, y difusión de la atmosfera, la energía producida por el sol no alcanza a llegar en su totalidad a la superficie de la Tierra, ya que la misma pierde intensidad al momento de atravesar la atmósfera y al mismo tiempo se modifica su distribución espectral, la radiación UV es absorbida en un mayor porcentaje por el ozono y

una fracción de la radiación IR es retenida por el vapor de agua y el dióxido de carbono existente en la atmósfera terrestre.

Además, en el estudio de dichos factores, se debe analizar la capa de aire primordialmente su espesor, la estación climática del año y la ubicación geográfica del sector. De acuerdo a lo mencionado se puede determinar la complejidad de todos los factores que afectan a la radiación solar final que es aprovechada para la generación de energía eléctrica. (Copernicus, 2020)

Copernicus nos facilita información adecuada y precisa sobre los recursos de radiación solar en la superficie de la Tierra, misma que en este caso serán indispensables para el análisis de uso de las energías renovables.

También nos provee de una plataforma denominada SoDa (Solar Radiation Data), este servicio proporciona valores diarios de la irradiancia extraterrestre (E0), es decir, recibida por un plano normal a los rayos del sol y fuera de la atmósfera, y la radiación de la parte superior de la atmósfera (ToA), es decir, recibida por una superficie horizontal y fuera de la atmósfera. E0, en W / m^2 , depende de la distancia sol-tierra y, por tanto, de la fecha (ToA se expresa en irradiancia (W / m^2) e irradiación (Wh / m^2)). (Copernicus, 2020)

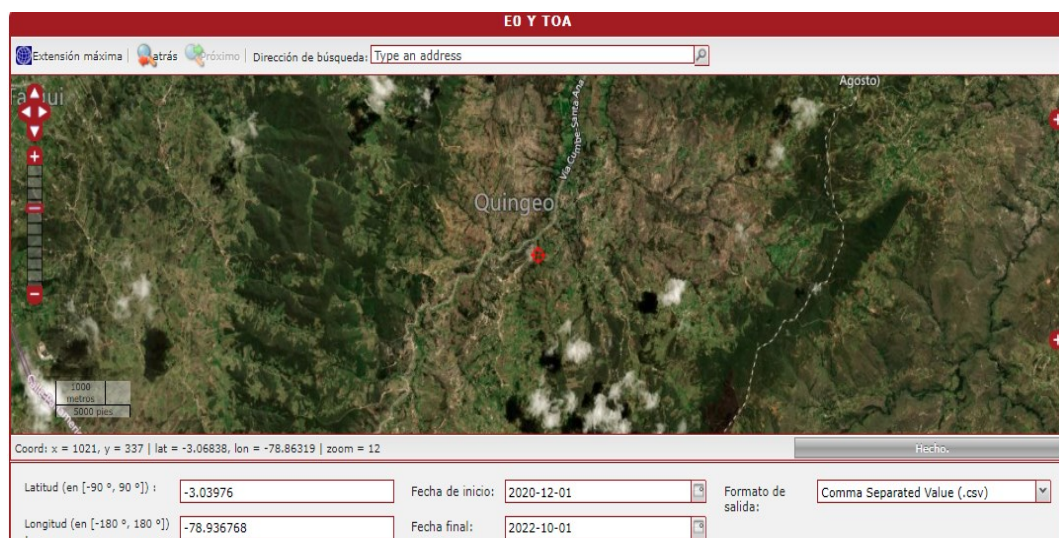


Fig. 2 Interfaz de la Aplicación SoDa de Copernicus

Fuente: <http://www.soda-pro.com/>

La plataforma nos permite ingresar las coordenadas o solamente seleccionar en el mapa la ubicación de donde queramos obtener los datos, así mismo el rango de fechas para posteriormente generar el reporte.

A continuación, se presentan las curvas mismas que fueron obtenidas durante los meses de diciembre 2020 hasta febrero de 2021. En la figura 3 se encuentra representada la

irradiación misma que esta expresada en Wh/m^2 , donde se observa la variabilidad según el promedio diario y la cantidad de irradiación que se ha tenido en determinado día.

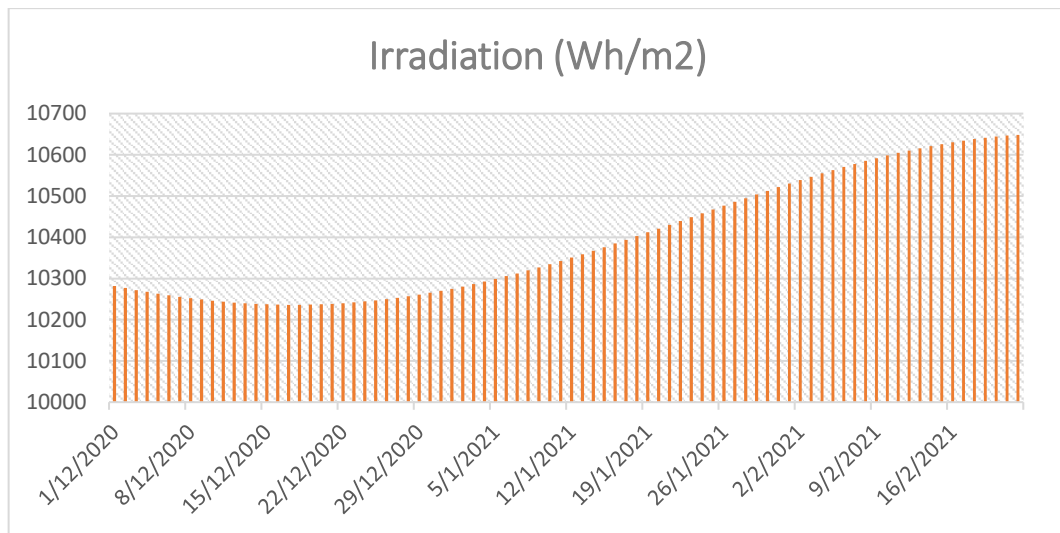


Fig. 3 Curva de Irradiación

Fuente: Los autores

En el caso de la Irradiancia sucede algo similar esta es una magnitud representada por el cociente entre la potencia (la energía por unidad de tiempo) y el área que recibe la radiación. En palabras simples la irradiancia nos permite conocer cuánta energía incide sobre un área en un tiempo determinado como se observa en la figura 4 nos indica en que día de los meses ha existido mayor Irradiancia, esta se expresa en W/m^2 .

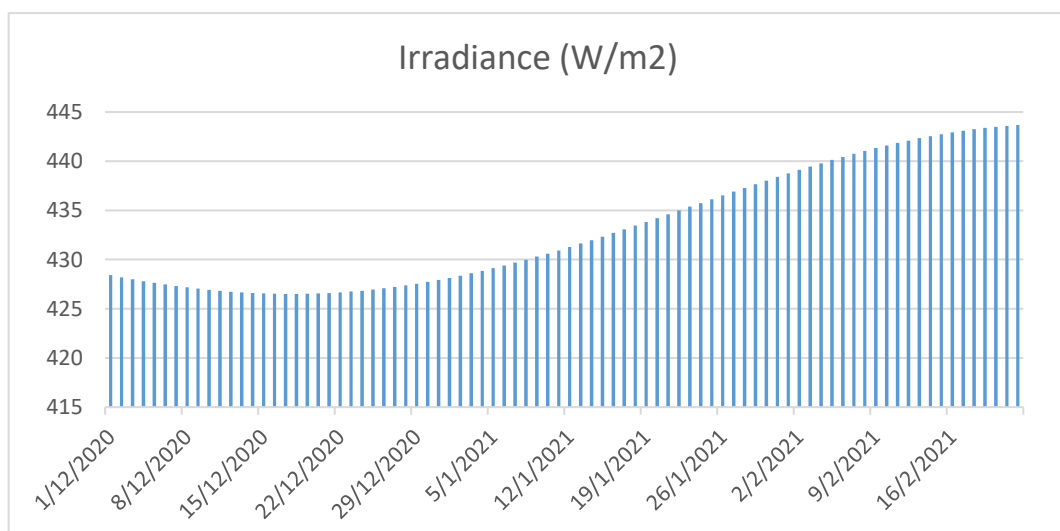


Fig. 4 Curva de Irradiancia

Fuente: Los autores

Copernicus también ofrece su servicio de monitoreo denominado McClear donde se recopiló datos de los tipos de irradiación los cuales son expresados en los siguientes puntos.

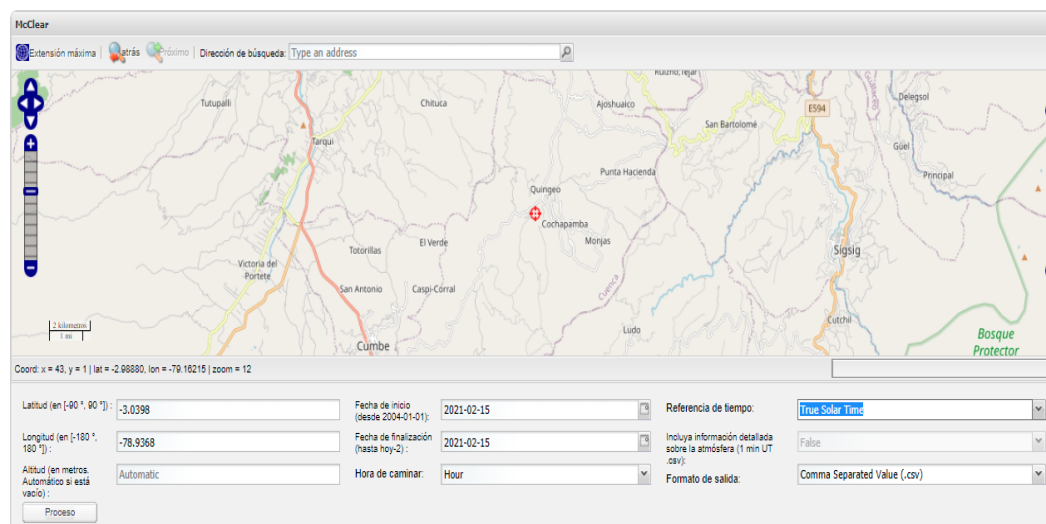


Fig. 5 Interfaz de la aplicación McClear de Copernicus

Fuente: Los autores

2.1.3.1 Irradiación en el plano horizontal en la parte superior de la atmósfera (Wh / m^2).

En la parte superior de la atmósfera (TOA) es una propiedad clave del sistema climático que describe el equilibrio entre la cantidad de energía solar que absorbe la Tierra y la cantidad de radiación infrarroja térmica terrestre que emite, se tomó referencia de un día completo y se encuentra representada en la figura 6.

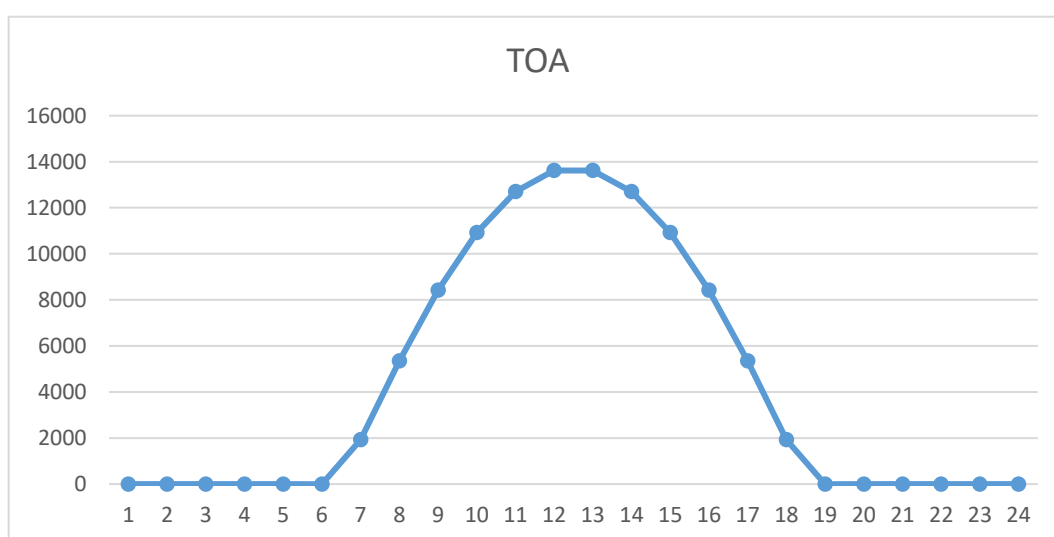


Fig. 6 Irradiación en el plano horizontal en la parte superior de la atmósfera

Fuente: Los autores

2.1.3.2 Irradiación difusa de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo.

Los rayos que han sido dispersados por la atmósfera y por lo tanto provienen de distintas partes del cielo, lo que se conoce como radiación difusa (DHI), y se mide en Wh/m^2 , misma que en este caso alcanza su pico máximo al medio día teniendo un valor de 1600 Wh/m^2 .

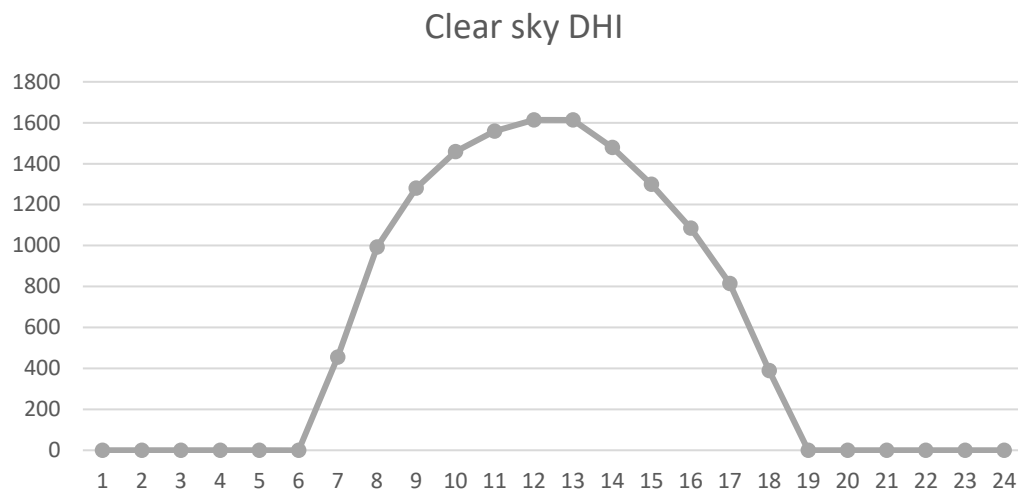


Fig. 7 Irradiación difusa de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo

Fuente: Los autores

2.1.3.3 Irradiación del haz de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo.

La radiación que alcanza la superficie es la suma de los rayos que vienen directamente del disco solar, lo que se denomina radiación directa (BHI), y se mide en Wh/m^2 , en este caso se obtuvo los datos de un día completo dando como resultado un mayor valor del BHI al medio día, como podemos observar en la figura 8.

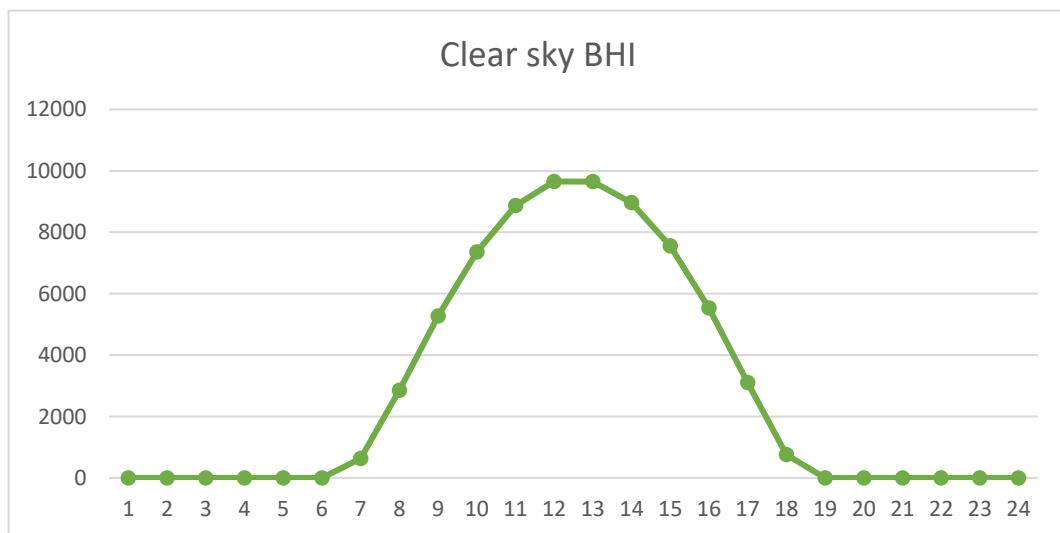


Fig. 8 Irradiación del haz de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo

Fuente: Los autores

2.1.3.4 Cielo despejado GHI: Irradiación global de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo (Wh / m^2).

Radiación Global es la suma de la Radiación Directa y la Radiación Difusa, como se puede observar en la figura 9 la radiación global máxima pico sobre un plano horizontal en un día promedio se localiza arriba de los 10000 Wh/m², entre las 11:00 a.m. y las 2:00 p.m.

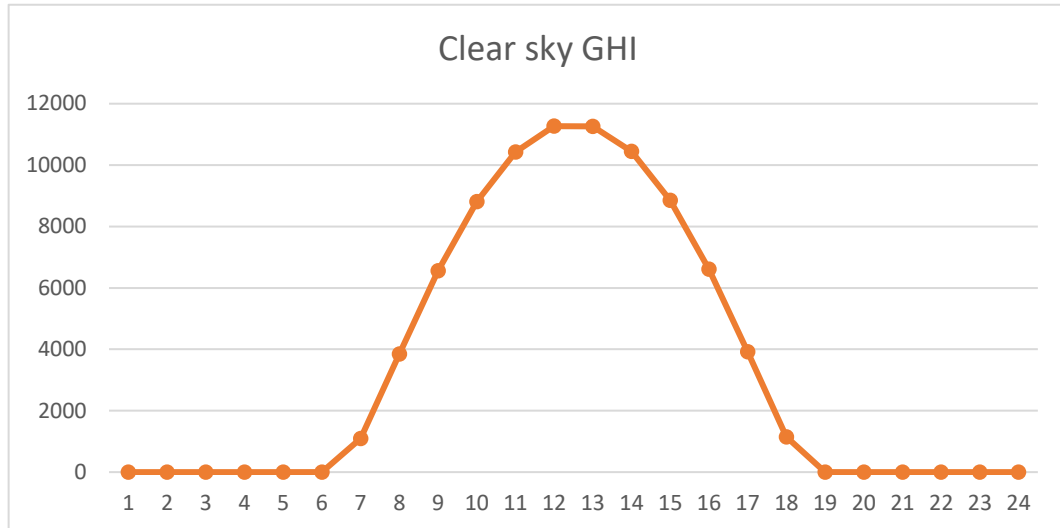


Fig. 9 Irradiación global de cielo despejado en un plano horizontal a nivel del suelo

Fuente: Los autores

2.2 Energías renovables

Las energías renovables son aquellas fuentes de energía basadas en la utilización de recursos naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida, que por su diversidad y abundancia tiene un gran potencial de aprovechamiento en cualquier lugar del planeta. La energía obtenida a partir de fuentes que se regeneran con el tiempo de forma natural, también son consideradas como renovables. (Correa Álvarez, 2016)

Las energías renovables además de ser inagotables son energías limpias y crecientemente competitivas, presentando un mínimo impacto negativo sobre el medio ambiente. Una de las características importantes con respecto a estas energías es su aplicabilidad y explotación a nivel local, reduciendo la dependencia de las poblaciones hacia los grandes generadores de energía, especialmente los sectores rurales y los sectores que por su espacio geográfico para la conservación de la naturaleza y sus valores culturales son considerados como áreas protegidas, favoreciendo el desarrollo de nuevas tecnologías y la creación de empleo.

La mayoría de estas energías proceden de recursos naturales de acceso gratuito y al tener una evolución lenta pero decreciente con respecto a los costos de fabricación de componentes, mientras que los combustibles fósiles con el transcurso del tiempo se van agotando y por lo tanto aumentará los costos de producción, es por ello que se espera que en

un futuro cercano sea factible la instalación a gran escala de sistemas de generación con energías renovables.

2.2.1 Tipos de energías renovables.

Las renovables producen una energía inagotable y limpia y son la alternativa ecológica y lógica a los combustibles contaminantes y fósiles que dominan actualmente el panorama energético, dentro de los principales tipos de energías renovables tenemos las siguientes.



Fig. 10 Fuentes de energía renovable

Fuente: Los autores

2.2.1.1 Biomasa.

Se conoce como biomasa al conjunto de residuos orgánicos producidos en las zonas residenciales, industriales, ganaderas y agrícolas, mismos que van desde la basura común hasta los residuos ganaderos, agrícolas o forestales, con este tipo de generación de energía se puede resolver una de las actuales problemáticas como es el tratamiento de los residuos de los sectores antes mencionados que muchas veces son desaprovechados. (Beta, 2020)

2.2.1.2 Biocombustibles.

Para la producción del biocombustible es necesario el uso de cereales o aceites desechados, todo esto con el fin de poder crear un combustible alternativo a los producidos a base de petróleo, para alcanzar esto se pasa por un proceso de fermentación de una variedad de plantas para su conversión a alcohol obteniendo como resultado final bioetanol, por otro lado, para obtener biodiesel se debe procesar aceites. (IBERDROLA, 2020)

2.2.1.3 Eólica.

La energía eólica es la que se obtiene del viento, se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire, la cual se puede convertir en electricidad a través de un generador eléctrico, la energía Eólica es una energía renovable, limpia, que no contamina y que ayuda a reemplazar la energía producida a través de los combustibles fósiles. (Acciona, 2020)

2.2.1.4 Geotérmica.

La energía geotérmica es obtenida a través del calor generado en el interior de la tierra, este tipo de fuente de energía renovable aprovecha el calor que existe en el subsuelo de nuestro planeta teniendo como parte de sus aplicaciones la climatización y obtención de agua caliente sanitaria de manera ecológica tanto en grandes edificios (oficinas, fábricas, hospitales, etc.) como en viviendas. (Endesa, 2020)

2.2.1.5 Hidráulica.

La energía hidráulica o energía hídrica se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, en el proceso de conversión la energía potencial durante la caída del agua es convertida en energía cinética y mueve una turbina para aprovechar esa energía. (IBERDROLA, 2020)

2.2.1.6 Energía solar.

El término energía solar se refiere al uso de energía del sol, que se puede utilizar para obtener calor o generar electricidad mediante la instalación de paneles solares y otros sistemas, este tipo de energía se encuentra distribuida en dos grandes grupos. (Energía, 2020)

2.2.1.6.1 Energía solar térmica.

La energía solar térmica, también conocida como energía termosolar, en este proceso, se utiliza la energía del Sol la cual se convierte en energía térmica, que se puede utilizar para diversas actividades, desde el uso doméstico hasta el industrial, este tipo de energía también puede ser explotada y transformada en energía mecánica y, a partir de ella, producir energía eléctrica, a diferencia de la energía solar fotovoltaica, que convierte la energía solar en electricidad directamente. (Manufacturing, 2021)

2.2.1.6.2 Energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica obtiene energía eléctrica a partir de la radiación solar, siendo esto posible a través de la implementación de paneles solares, mismos que están conformados por células de silicio que se encargan de transformar la radiación en energía

eléctrica, una de las ventajas del uso de estos paneles es que brindan la facilidad de instalarse tanto a nivel doméstico, como en grandes instalaciones conocidas como plantas fotovoltaicas.

Los paneles solares no permiten almacenar la energía generada y al tener excedentes de generación es necesario implementar un sistema con baterías para almacenar la energía y poder consumirla en horas donde no exista un nivel de radiación óptimo, o a su vez, estos excedentes pueden ser inyectados a la red eléctrica. Con la instalación de estos sistemas cada hogar puede producir su propia electricidad para el autoconsumo. (Centrosur, 2021)

2.3 Aplicaciones de la energía solar

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene del sol y con la que se pueden generar calor y electricidad, de este modo teniendo distintos tipos de aplicaciones donde destacan las siguientes. (Juárez, 2017)



Fig. 11 Aplicaciones de la Energía Solar

Fuente: Los autores

2.3.1 Iluminación.

Siendo el LED una fuente de luz de bajo consumo ha sido posible desarrollar aplicaciones en iluminación remota o móvil con la implementación de sistemas fotovoltaicos, misma que puede estar combinada con instalaciones de almacenamiento como son las baterías que se utilizan sobre todo para garantizar una óptima iluminación en distintos campos aplicativos. (Juárez, 2017)

2.3.2 Comunicaciones.

En los sistemas de comunicación las señales necesitan ser amplificadas después de ciertos intervalos de distancia donde se colocan torres de transmisión y así lograr aumentar señales de teléfono, televisión y radio, en ciertas ocasiones estas deben ser colocadas en sitios alejados de redes eléctricas y para reducir el costo de transporte y generación se ha optado por instalar sistemas fotovoltaicos siendo estos una alternativa viable. (Juárez, 2017)

2.3.3 Experimentos científicos.

En ciertos casos se ha tenido la necesidad de instalar experimentos científicos en zonas alejadas de la red eléctrica, es por ellos que los sistemas fotovoltaicos pueden ser utilizados de manera eficaz para llevar este tipo de actividades científicas en áreas remotas como pueden ser los sistemas de monitoreo de las actividades sísmicas, las condiciones de la carretera, información meteorológica y otras actividades de investigación pueden ser alimentados por sistemas fotovoltaicos. (ORG, 2020)

2.3.4 Sistemas de alarma.

Una importante área como son las señaléticas en carreteras, sistemas de navegación, faros, señales de advertencia usados en aviones pueden estar situados en lugares lejanos a la red eléctrica, donde se puede hacer uso de la energía solar misma que pueden ser una fuente fiable para este tipo de aplicaciones, además radares y semáforos portátiles pueden ser alimentados por sistemas fotovoltaicos. (Juárez, 2017)

2.3.5 Bombeo de agua.

Los sistemas fotovoltaicos son los candidatos perfectos al momento de optar por un sistema de bombeo para la ganadería y/o agricultura durante los meses de intenso verano, un buen dimensionamiento del mismo garantiza que se pueda contar con agua de manera constante, ya sea para riego o para almacenamiento, además puede ser utilizado para transportar el agua hacia pueblos cercanos o zonas donde no cuentan con el líquido vital.

2.3.6 Estaciones de carga de vehículos.

En la actualidad, tenemos los denominados vehículos eléctricos, mismos que pueden recargarse en este tipo de estaciones alimentadas por paneles solares, además este tipo de estaciones tienen la ventaja de poder abastecer toda la demanda requerida ya que en ciertas ocasiones se puede dejar de contar con el servicio de la red eléctrica. (Juárez, 2017)

2.3.7 Protección catódica de la energía solar.

Un uso poco común de los sistemas fotovoltaicos es la aplicación en sistemas de tuberías o estructuras metálicas que pasan la mayor parte del tiempo expuestas al agua, por lo cual

tienden a corroerse de manera rápida, dicha corrosión es producto de la actividad electrolítica de metales, debido a que estos tienden a perder iones al tener contacto con el agua, este puede reducirse mediante la aplicación de un voltaje externo misma que evitará la pérdida de iones del metal, para ello es suficiente un pequeño voltaje DC será suficiente en este caso la energía producida por los paneles solares puede ser utilizada directamente.

2.3.8 Sistemas de refrigeración.

Ante la actual crisis sanitaria, y la importancia de preservar y transportar medicamentos y vacunas en ambientes refrigerados los sistemas fotovoltaicos son realmente convenientes en este tipo de situaciones, además que pueden ser usados para otros fines de refrigeración.

2.3.9 Sistemas de agua caliente sanitaria.

Para este tipo de sistema se usan acumuladores térmicos mismos que almacenan y calientan el agua sanitaria para el uso doméstico o para la calefacción, generalmente este tipo de sistemas son de apoyo, sin embargo, permiten un considerable ahorro económico.

2.4 Desafíos de la energía renovable

En la última década, la preocupación de la sociedad por el medio ambiente ha crecido de manera importante convirtiéndose en una de las principales necesidades disminuir la contaminación causada por la generación de electricidad a partir de carbón, gas y diésel, esto ha llevado al desarrollo de tecnologías que tienen un menor impacto ambiental como son las Energías Renovables. (Laura Martín Murillo, 2018)

Uno de los principales desafíos a superar es la alta inversión necesaria para implementar sistemas generadores de energía eléctrica que aprovechen las energías renovables disponibles, es por ello que los sectores estratégicos tanto públicos como privados deben pensar en un objetivo común el cual es conservar el medio ambiente y poner énfasis en el desarrollo de componentes que a corto y mediano plazo pudieran abrir nuevos mercados que a su vez proporcionen costos más accesibles, generando un alto crecimiento de instalación de sistemas de generación eléctrica con energías renovables, la Academia al ser un pilar fundamental dentro del desarrollo de una sociedad sustentable y sostenible no puede quedarse fuera de este objetivo común, por lo tanto debe ser partícipe en proyectos de investigación y desarrollo de nuevos componentes con materia prima disponible en el país, aplicando técnicas y procedimientos con un mínimo impacto ambiental, para de esta manera, reducir considerablemente el costo final que conlleva instalar un sistema para energías renovables.

2.5 La energía solar como fuente de desarrollo en sectores pobres

Hoy en día es indispensable contar con un servicio eléctrico en el hogar, sin embargo, no todas las personas tienen la posibilidad de tener el mismo, siendo así que el uso de energía en los espacios rurales se relaciona con el consumo de combustibles fósiles empleados en maquinaria, equipos agrícolas y como insumo doméstico en la cocción de alimentos. Estas aplicaciones basadas en la utilización de recursos naturales representan factores de riesgo ambiental y de salud, como la contaminación atmosférica o calentamiento global, debido al aumento del dióxido de carbono, uno de los gases responsables del efecto invernadero.

Con la implementación de este tipo de energía el desarrollo social y económico de los sectores rurales, podrían mejorar ya que la calidad de vida de las personas será mucho mejor pudiendo brindarles facilidades y comodidades que no tenían. Sin embargo, esta realidad no es aplicable en todos los sectores, debido a que se debe tener un conocimiento de cómo es el clima y la radiación que exista en dicho lugar o sector donde se desee implementar un sistema fotovoltaico.

Actualmente la energía solar se usa más que nada para iluminación, radio y televisión en el ámbito doméstico. Al ampliarse el horario en que se disfruta de luz, hay más tiempo para realizar actividades productivas.

Con el aprovechamiento de la energía solar a través de sistemas fotovoltaicos instalados en los hogares es posible dotar de un servicio básico como es la energía eléctrica, además permite un desarrollo económico en los hogares ya que al contar con este servicio se facilita el incentivo y el desarrollo de pequeños talleres artesanales, los cuales podrán ser una fuente de ingresos, mejorando la situación económica de dichos sectores. (Giorgi, 2021)



Fig. 12 Sector Rural con Energía Fotovoltaica

Fuente: www.elperiodico.com

2.5.1 Electrificación rural con energías renovables en el Ecuador.

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable como ente de formulación de la política nacional del sector eléctrico, promueve la adecuada y exitosa gestión de proyectos de electrificación rural con energía renovable no convencional, para lo cual se encuentra trabajando con varios actores del sector eléctrico, Organizaciones No Gubernamentales, entre otros, a fin de definir una estrategia que permita la consolidación de proyectos de energía renovable en zonas aisladas, a través de la sostenibilidad de dichos proyectos. (Santiago Flores Gómez, 2013-2022)

A nivel internacional se han realizado algunos proyectos de alumbrado público con luminarias led y energía solar fotovoltaica, la mayoría de estos proyectos se han destinado a la iluminación de sitios de recreación parques y accesos viales, en la actualidad el gobierno ha replicado ciertos proyectos como el de alumbrado público con energía fotovoltaica, estas luminarias funcionan de la siguiente manera.

Durante el día los módulos fotovoltaicos convierten la luz procedente del sol en energía eléctrica, la cual es almacenada en una batería. Al ponerse el sol, la lámpara LED que es activada automáticamente por un timer o fotocélula, empieza a extraer la energía almacenada. Durante el día, la batería se recarga nuevamente y el proceso se repite todos los días, un ejemplo de este sistema se muestra en la siguiente figura.



Fig. 13 Sistema fotovoltaico autónomo para iluminación publica

Fuente: Los autores

CAPITULO 3

3. DISEÑO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para desarrollar el diseño del sistema solar fotovoltaico se debe tener en cuenta que esta tecnología aprovecha una de las fuentes de energía más apropiadas para la electrificación en el medio rural, debido a su autonomía, mínimo mantenimiento, costos decrecientes, fácil instalación, vida útil a largo plazo y por tener un menor impacto ambiental con relación a las demás fuentes de energía, lo cual permite aprovechar los recursos del sector donde las posibilidades de acceder a una red de distribución eléctrica son reducidas, sin generar un impacto ambiental perturbando el ecosistema. (ORG, 2020)

3.1 Diseño general del sistema solar fotovoltaico aplicado a monumentos

Para realizar el diseño del sistema fotovoltaico a implementar primero analizamos los distintos componentes que conforman el sistema.

3.1.1 Componentes de una Instalación solar fotovoltaica.

3.1.1.1 Panel Solar.

Un panel solar es el encargado de transformar la energía solar en energía eléctrica, para ello ha sido conformado con un encapsulado que contiene células solares conectadas eléctricamente, mismas que se encuentran colocadas sobre un marco de aluminio. En sus bornes de conexión se obtiene un voltaje continuo, siendo diseñados con voltajes de salida específicos que van entre los 6V, 12V, 24V...; de acuerdo a la potencia a generar. (Ingemecanica, 2020)

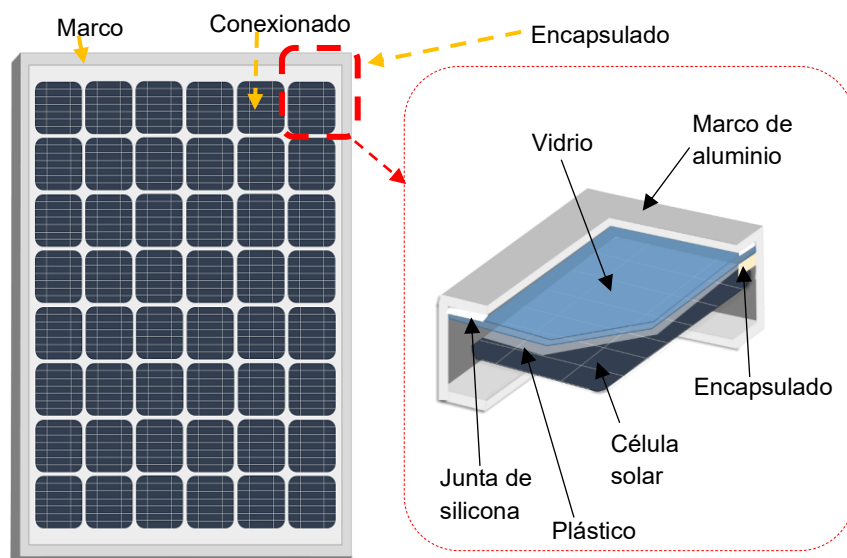


Fig. 14 Vista frontal de un panel solar

Fuente: Los autores

- **Marco de aluminio:** Protege todos los elementos internos que conforman el panel solar de las tensiones térmicas y mecánicas, además proporciona puntos de fijación de montaje sobre el soporte.
- **Encapsulado:** Protege al panel solar de la intemperie; frente a la abrasión, la humedad y los rayos UV. El encapsulado también protege las células y las conexiones ante posibles vibraciones.
- **Vidrio:** Ubicado en la parte superior del panel tiene como función proteger las células solares ante los fenómenos climatológicos.
- **Conexionado:** El panel debe ser fácil de instalar, Las células solares que forman el panel van conectadas entre sí en serie o en paralelo. Su asociación desde el punto de vista eléctrico proporciona el nivel adecuado de tensión e intensidad para el que ha sido diseñado el panel solar.

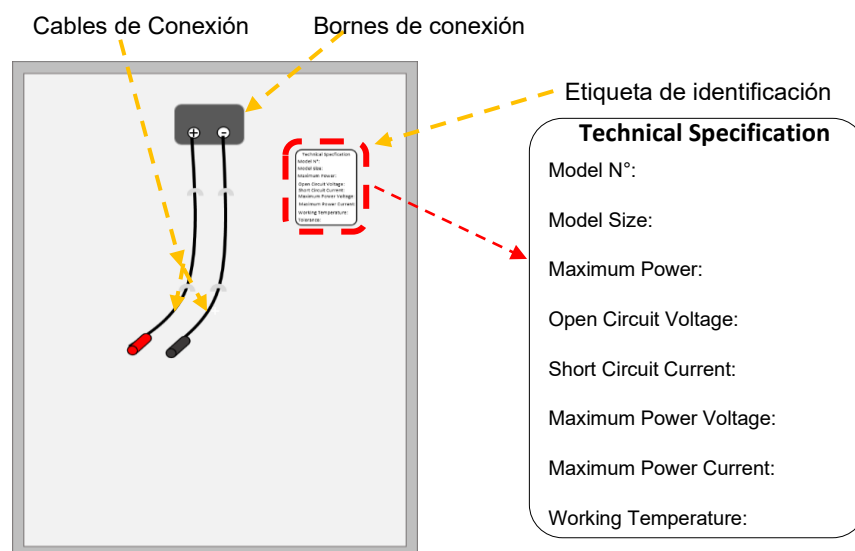


Fig. 15 Vista posterior de un panel solar

Fuente: Los autores

- **Bornes de conexión:** Permiten garantizar la seguridad y asegurar las conexiones del circuito eléctrico con el panel solar. Los bornes están ubicados en el interior de la caja de conexión la cual protege al circuito ante la presencia de polvo y agua en el ambiente.
- **Cables de conexión:** Conecta el circuito eléctrico con el panel fotovoltaico.
- **Etiqueta de identificación:** Contiene los principales datos técnicos del módulo fotovoltaico.

Para seleccionar un panel solar es importante conocer los tipos de paneles que vienen dados por la tecnología de fabricación de las células y son fundamentalmente los siguientes.

Tabla 1. Tipos de paneles solares

Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento Directo	Características	Fabricación
Mono-cristalino	24 %	15 – 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
Poli-cristalino	19 – 20 %	12 -14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Menor número de fases de cristalización.
Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: (Rivas, 2020)

3.1.1.2 Regulador.

Para un correcto funcionamiento de la instalación, se debe instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares, las baterías y la carga. Tiene como misión evitar situaciones de sobrecarga y sobredescarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil, protegiendo el sistema, pero sobre todo a las personas que lo manipulen, por lo que deberá tener implementado un sistema de protección que proporcione medidas de seguridad oportunas. (Ingemecanica, 2020)

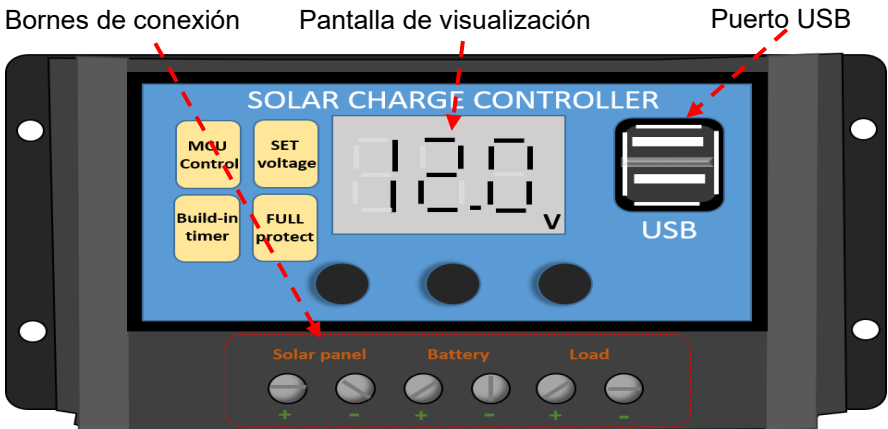


Fig. 16 Regulador de voltaje

Fuente: Los autores

El regulador trabaja en dos zonas, en la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería. Dado que los paneles solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podría producir sobrecargas.

Tabla 2. Tipos de reguladores

Tipo	Características
Según tecnología del interruptor	Relé electromecánico. Estado sólido (MOSFET, IGBT...).
Según estrategia de desconexión del consumo	Por tensión. Por algoritmos de cálculo del estado de carga. Por otros algoritmos de gestión de la energía.
Según posición del interruptor de control de generación	Serie. Paralelo.

Fuente: Los autores

3.1.1.3 Acumuladores (baterías).

La energía eléctrica generada por los paneles solares no es uniforme, presentando variaciones predecibles como el tiempo de duración de la noche o las temporadas climatológicas, y variaciones aleatorias en la energía recibida, como puede suceder con un aumento de la nubosidad en un determinado instante. Debido a lo mencionado nace la necesidad de implementar un sistema de almacenamiento de energía para mantener el sistema con un óptimo funcionamiento dentro de los parámetros establecidos al diseñar el sistema. (Rao, 2001)

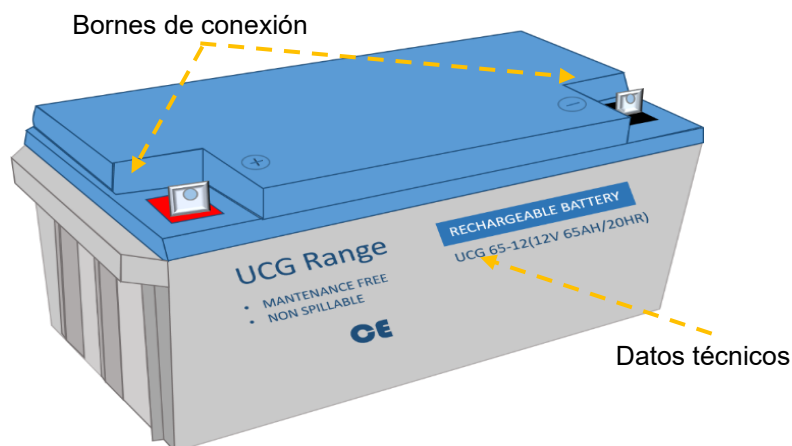


Fig. 17 Batería

Fuente: Los autores

Una batería es un dispositivo que transforma la energía química en energía eléctrica, siendo recargada a partir de la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos durante las horas que incide la radiación solar, a través de un regulador de carga que protege a la batería ante posibles sobrecargas o sobredescargas; y pueden entregar su energía a la salida de la instalación donde será consumida por la carga conectada en las noches, en días nublados o cuando la demanda de energía es mayor a la que producen los paneles solares. (Rao, 2001)

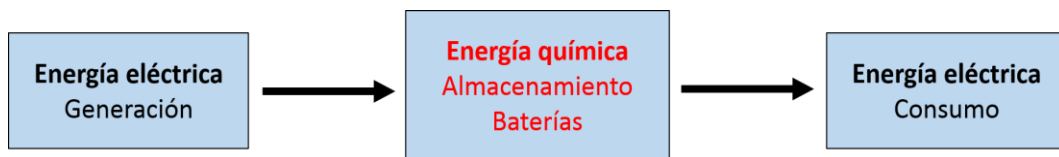


Fig. 18 Diagrama proceso químico de la batería

Fuente: Los autores

3.1.1.3.1 Principales parámetros a considerar.

- **Capacidad:** Es la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando.
- **Autodescarga:** Es el proceso de descarga de la batería sin que se encuentre conectada a una carga.
- **Profundidad de descarga:** Es el porcentaje de la cantidad total de energía que es utilizada durante un ciclo de descarga de la batería, este porcentaje es medido a partir de la batería completamente cargada. Al tener un ciclo de descarga superficial entre 20 al 40% es mayor la vida útil de la batería, y al tener una descarga profunda entre los 60 al 80% la vida útil de la batería será menor.

3.1.1.3.2 Tipos de baterías.

Baterías de Plomo Ácido Abierto:

- Cada compartimiento está aislado y sumergido en ácido sulfúrico, con un conexionado en serie.
- Compuesto por electrodos polarizados positiva y negativamente ubicados en el interior de las placas de manera alterna.
- Por su alto rendimiento a menor costo es de mayor utilización en sistemas aislados.

Baterías AGM:

- Sus placas de plomo tienen una mejor capacidad de absorción de ácido.
- Cuentan con un diseño sellado por lo cual no necesitan mantenimiento y a la vez permiten mayor facilidad para su transporte.
- Por su gran capacidad de soportar ciclos de carga y descarga son las más adecuadas para instalaciones exigentes.
- Tienen la capacidad de soportar ciclos de descarga profunda sin variar en gran medida su óptimo funcionamiento, lo cual garantiza una mayor vida útil.

Baterías de GEL:

- Al ser baterías selladas una de sus características importantes es que no emiten gases contaminantes por lo cual pueden ser implementarlas en lugares donde no se cuente con sistemas de ventilación.
- Contienen electrolito gelificado y tienen la capacidad de soportar hasta 800 ciclos de descarga profunda siendo una batería de gran durabilidad.
- Cuentan con un diseño sellado por lo cual no necesitan mantenimiento y a la vez brinda facilidad en su cuidado.
- Por sus eficientes capacidades se recomienda implementarlas en instalaciones pequeñas y medianas.

Baterías estacionarias:

- Están diseñadas con un regulador que alimenta a la carga y a la vez recarga la batería cuando esta se descargue, evitando que la batería se descargue constantemente.
- Se subdividen en baterías estacionarias de electrolito absorbido OPzV para las cuales no es necesario realizar mantenimiento y las baterías de electrolito líquido TOPzS, las cuales necesitan mantenimiento periódico, debido a que requieren una revisión de los niveles de ácido.
- Gracias a su capacidad para soportar ciclos de descarga profunda y a su larga vida útil se recomiendan para instalaciones fotovoltaicas.

Baterías de Litio:

- Es una de las baterías con mayor rapidez de carga.
- Tienen la capacidad de soportar descargas hasta el 0% sin que la batería sufra daños, por lo tanto, tienen una mayor vida útil.
- tienen mayor autonomía con un menor peso.

- Nula emisión de gases evitando implementar sistemas de ventilación.

3.1.1.4 Inversor.

Debido a que la gran mayoría de equipos eléctricos utilizan corriente alterna para su funcionamiento, de manera que la corriente continua generada por los paneles solares no serviría para este fin, por lo tanto es necesario la utilización de un inversor el cual es un dispositivo encargado de convertir la corriente continua procedente de la batería y de los módulos fotovoltaicos, en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica, 120/240 V de valor eficaz y una frecuencia de 50/60 Hz de acuerdo al país de aplicación. (Díaz, 2010)

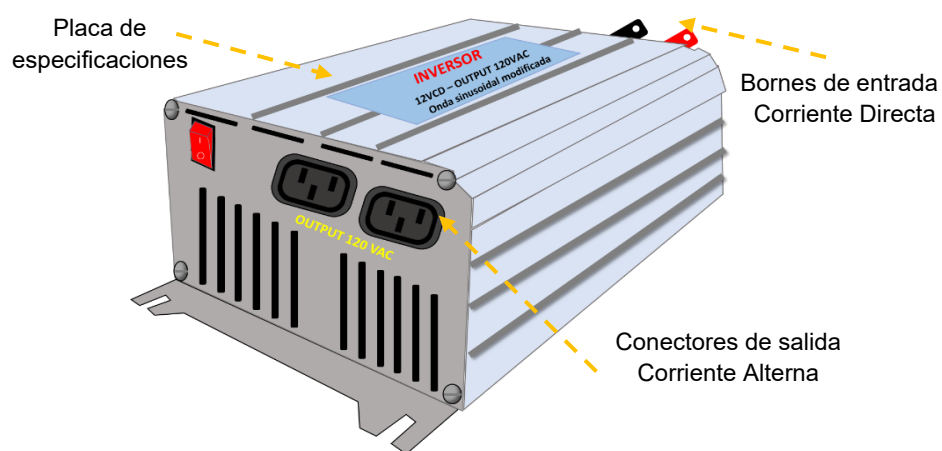


Fig. 19 Inversor

Fuente: Los autores

En los sistemas fotovoltaicos on-grid el inversor es un dispositivo imprescindible y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, especialmente en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas.

3.1.1.4.1 Principales Parámetros a Considerar.

- Alta eficiencia: Su funcionamiento debe ser óptimo para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo en vacío: Cuando no existen cargas conectadas al sistema.
- Alta fiabilidad: Resistencia a los picos de arranque.
- Regulación de la tensión y frecuencia de salida idónea: Compatible con la red eléctrica y con los artefactos eléctricos a conectar.

3.1.1.4.2 Tipos de Inversores para sistemas fotovoltaicos.

Inversores de Conexión a la Red:

- Mantienen la tensión de la energía generada por los paneles fotovoltaicos por encima de la de la red, priorizando el uso de la energía solar generando un ahorro económico.

- Monitorizan constantemente el estado de la instalación y la demanda de energía, cubriendo el 100% de la demanda con energía proveniente del sistema fotovoltaico, de la red de distribución eléctrica o de ambas y en algunos casos almacenando información de todo el proceso.

Inversores de Instalaciones Aisladas:

- Sistemas fotovoltaicos independientes de la red de distribución eléctrica.
- Funcionan a través de la energía eléctrica almacenada en un banco de baterías, para cubrir la demanda existente en las noches y en días donde la generación fotovoltaica es mínima.
- Algunos modelos de inversores tienen incorporados funciones para cargar las baterías, controlar el flujo de energía desde y hacia las baterías y proporcionar seguridad tanto al equipo conectado como a la persona que manipula estos equipos.

Inversores Mixtos:

- Inversores híbridos que tienen la capacidad de controlar correctamente las tres fuentes de energía disponibles (paneles solares, baterías y red eléctrica).

3.1.2 Topología de la Instalación Solar Fotovoltaica.

Para este proyecto el diseño del sistema fotovoltaico aplica para monumentos localizados en zonas rurales, en donde no existen redes de distribución eléctrica, por lo tanto, se implementará una instalación fotovoltaica del tipo aislada que consta de paneles fotovoltaicos, regulador-controlador de carga, baterías, iluminación led e instalaciones eléctricas. (Centrosur, 2021)

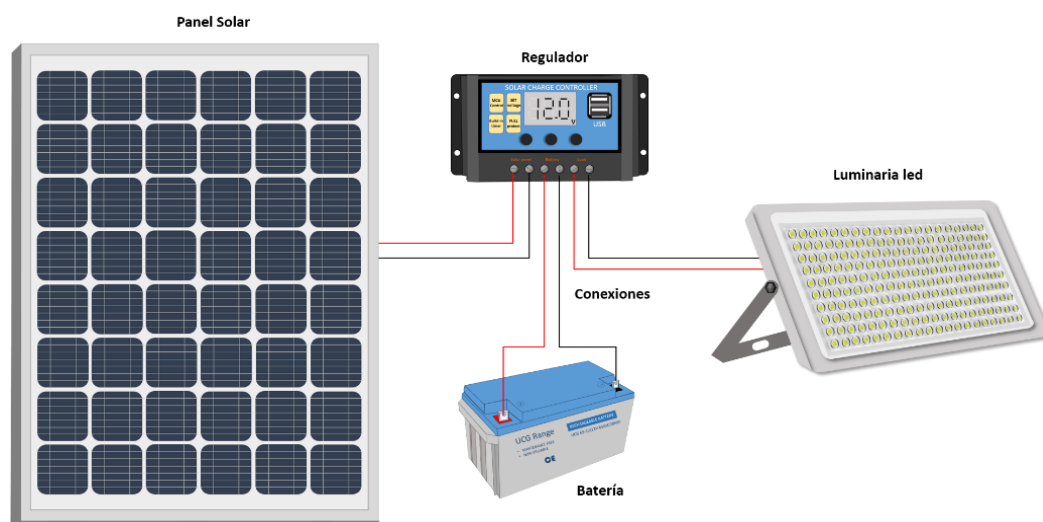


Fig. 20 Topología de la instalación del sistema fotovoltaico

Fuente: Los autores

3.2 Puntos específicos que deben contemplarse al diseñar un sistema solar fotovoltaico

3.2.1 Tipo de sistema de conexión.

Los sistemas fotovoltaicos al tener diferentes aplicaciones, permiten energizar equipos con un mínimo consumo de energía hasta equipos que requieren grandes cantidades de energía satisfaciendo toda la energía requerida en una residencia. Por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos grupos, los sistemas conectados a la red (on-grid) y los sistemas aislados de la red (off-grid). (Icaza, 2018)

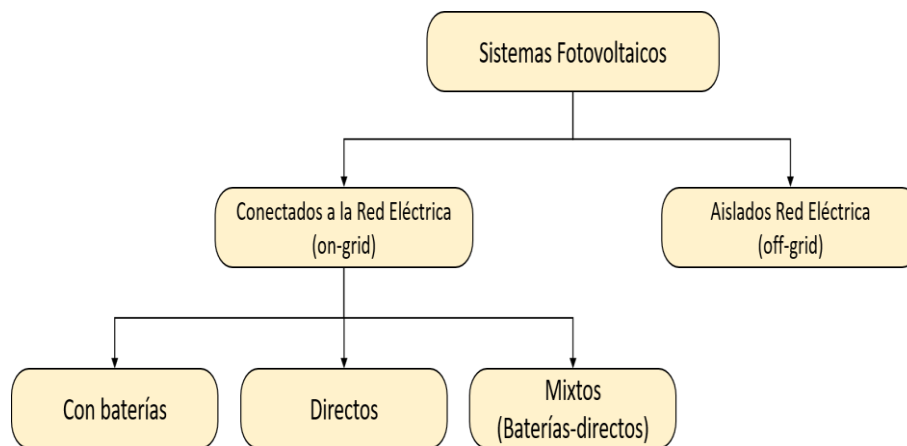


Fig. 21 Diagrama tipos de sistemas fotovoltaicos

Fuente: Los autores

3.2.1.1 Sistema Conectado a la Red (on-grid).

Es un sistema más robusto capaz de operar en conjunto con la red de distribución eléctrica, permitiendo cubrir el 100 por ciento de la demanda conectada al sistema de manera independiente, ya sea a través del sistema fotovoltaico o de la red eléctrica, o a través de la energía eléctrica suministrada por los dos sistemas cuando la potencia demandada por la instalación supere la potencia máxima del sistema fotovoltaico. Por el contrario, cuando la energía generada es mayor a la energía demandada, el excedente de energía será suministrada a la red de distribución eléctrica la cual entregará esa energía al punto de consumo más cercano. (Energia, 2021)

Este tipo de sistema es más económico debido a que al no tener la obligatoriedad de contar con un banco baterías se reduce considerablemente el costo final de implementación, debido a que las baterías son uno de los elementos más costosos dentro del sistema fotovoltaico. Por otra parte, se debe considerar que para instalar un sistema on-grid es necesario contar con un contrato con la empresa distribuidora para que certifique que el sistema instalado

cuenta con todas las normas de seguridad y cumpla con las regulaciones existentes en el país, además es necesario contar con un medidor bidireccional.

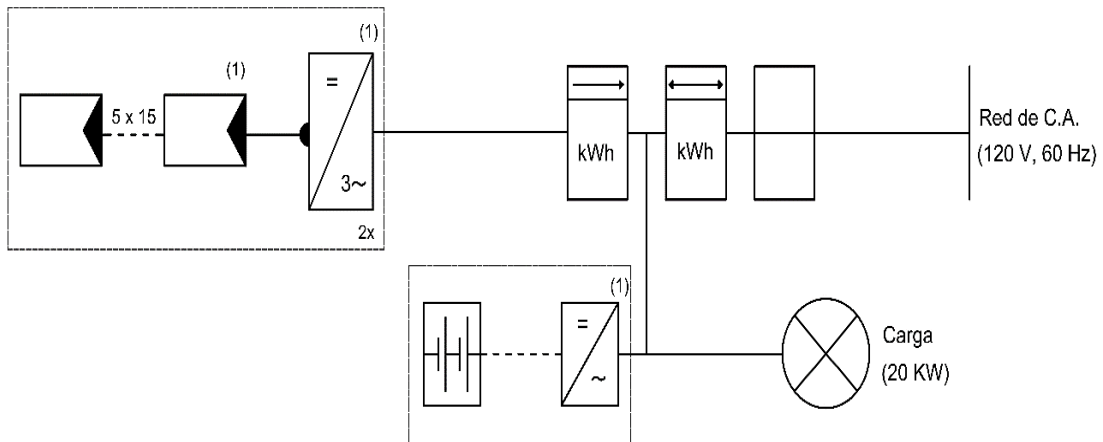


Fig. 22 Diagrama de conexión on-grid

Fuente: Los autores

3.2.1.2 Sistema Aislado de la Red (off-grid).

Es un sistema que funciona sin la necesidad de estar conectado a la red de distribución eléctrica, toda la energía generada por el sistema es consumida inmediatamente por los distintos equipos conectados al sistema o es almacenada en un banco de baterías para su posterior consumo, en días cuando la radiación solar es mínima o generalmente en las noches. Cabe mencionar que este tipo de sistema si no cuenta con un banco de baterías toda la energía generada no consumida se perderá. (Icaza, 2018)

El estudio realizado se centra en una zona rural donde no se cuenta con una red de distribución eléctrica, por lo tanto, en este proyecto se determina la implementación de este tipo de sistema para almacenar la energía generada para su consumo en las noches.

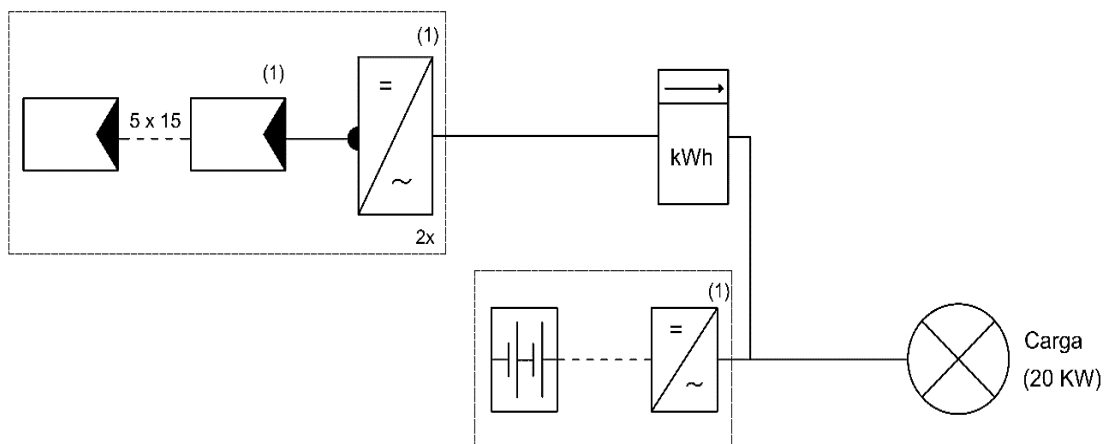


Fig. 23 Diagrama de conexión off-grid

Fuente: Los autores

3.2.2 Orientación.

Debido a la trayectoria del Sol los paneles solares deberán orientarse horizontalmente para conseguir el máximo rendimiento a todas las horas del día. (FRIEDRICH, 1988)

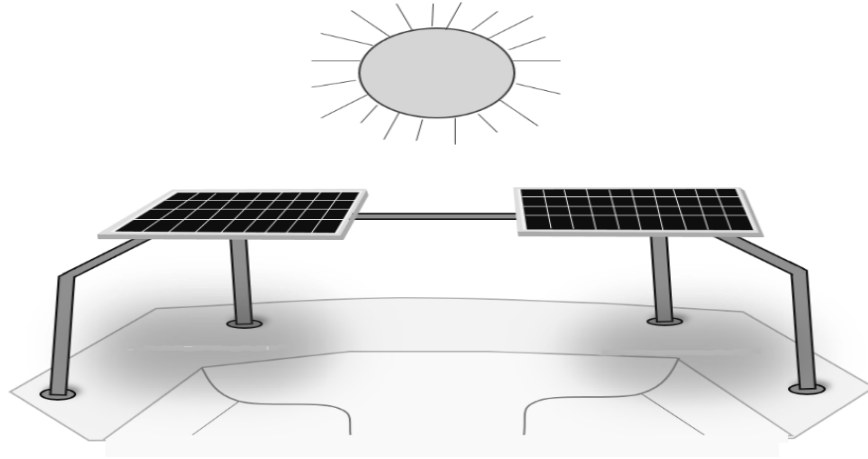


Fig. 24 Orientación del panel solar

Fuente: Los autores

3.2.3 Ubicación.

Debido a la reducción de la eficiencia de los paneles solares ante la presencia de cualquier material que pueda generar sombra, es importante ubicar los paneles solares en lugares donde se garantice una máxima insolación constante, en especial en las horas centrales del día donde se aprovecha la mayor radiación solar. (Solar, 2017)

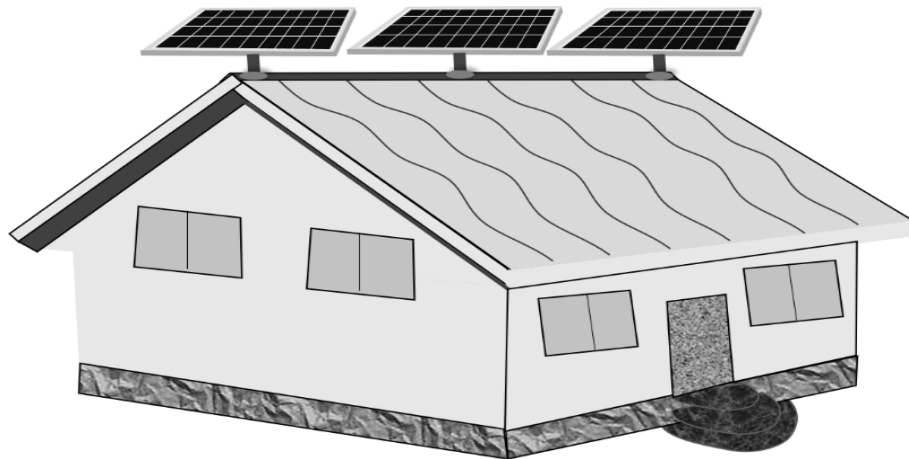


Fig. 25 Ubicación panel solar

Fuente: Los autores

3.2.4 Combinación de paneles.

3.2.4.1 Conexión Serie.

Los módulos fotovoltaicos se conectan uno a continuación del otro, es decir la salida del primer módulo con la entrada del segundo y así sucesivamente dependiendo del número total de módulos a implementar, obteniendo como resultado un voltaje resultante igual a la sumatoria de los voltajes parciales, con un valor de corriente que se mantiene constante. (AutoSolar, 2021)

3.2.4.2 Conexión Paralelo.

Los módulos fotovoltaicos se conectan uniendo las respectivas entradas y salidas entre sí, obteniendo como resultado una corriente resultante igual a la sumatoria de las corrientes parciales, con un valor de voltaje que se mantiene constante.

3.2.4.3 Conexión Mixta.

Resulta al combinar las características de la conexión serie y paralelo de los módulos fotovoltaicos, obteniendo como resultado final un voltaje y corriente igual a la sumatoria de los voltajes y corrientes parciales.

Dentro del estudio se debe analizar cuál de estos tipos de conexión es el más adecuado para generar la potencia demandada ocupando el menor espacio posible, para cumplir el objetivo principal del diseño el cual es resaltar el monumento turístico. (AutoSolar, 2021)

3.3 Inclinación del panel solar y análisis de sombras

3.3.1 Tipos de sistema de instalación fotovoltaica.

3.3.1.1 Sistema Estático.

Conformado por módulos fotovoltaicos con una orientación e inclinación estática, donde la orientación, inclinación y radiación solar que incide en el sector determinará el rendimiento final del sistema. Son más económicos y de fácil instalación en cubiertas industriales, viviendas y edificios.

3.3.1.2 Sistema de Seguimiento Solar.

Tiene como objetivo posicionar a los módulos fotovoltaicos con dirección al Sol a través de ejes eléctricos motorizados, mecánicos o hidráulicos, para obtener la máxima captación de energía durante todos los días del año aumentando la rentabilidad del sistema. Estos sistemas se subdividen en dos tipos.

- Seguimiento de la posición horaria del sol de Oeste a Este cada día (azimutal): Denominado seguidor de un eje, se caracteriza porque el seguidor solar tiene un movimiento rotacional sobre su propio eje, aumentando su rendimiento en un aproximado de 30% en comparación con el sistema estático.

- Seguimiento estacional del sol del solsticio de invierno a verano y viceversa cada seis meses (cenital): Denominado seguidor de doble eje, se caracteriza porque el seguidor solar tiene un movimiento de rotación sobre su propio eje y además puede variar el ángulo de inclinación de acuerdo a las estaciones del año.

3.3.2 Inclinación del panel solar.

Para determinar la inclinación del panel solar se calcula el ángulo de inclinación el cual es obtenido entre el panel solar y el plano horizontal, los paneles solares obtienen su máxima captación de energía cuando están orientados hacia el sol perpendicularmente al medio día. La posición del sol durante el día es de este a oeste, pero también se debe considerar el movimiento terrestre alrededor del sol lo cual genera variaciones estacionales con lo cual el ángulo de radiación solar es diferente para cada estación. (Nema, 2013)

En verano para que los paneles solares alcancen su máximo rendimiento deben ser colocados con un ángulo de inclinación menor con relación al invierno, sin embargo, en el caso de los sistemas estáticos el ángulo de inclinación establecido no sería el óptimo para el invierno. De acuerdo a lo mencionado se debe establecer un ángulo intermedio entre los ángulos óptimos de verano e invierno, con el cual se consiga aprovechar de mejor manera el sistema fotovoltaico con un rendimiento anual promedio.

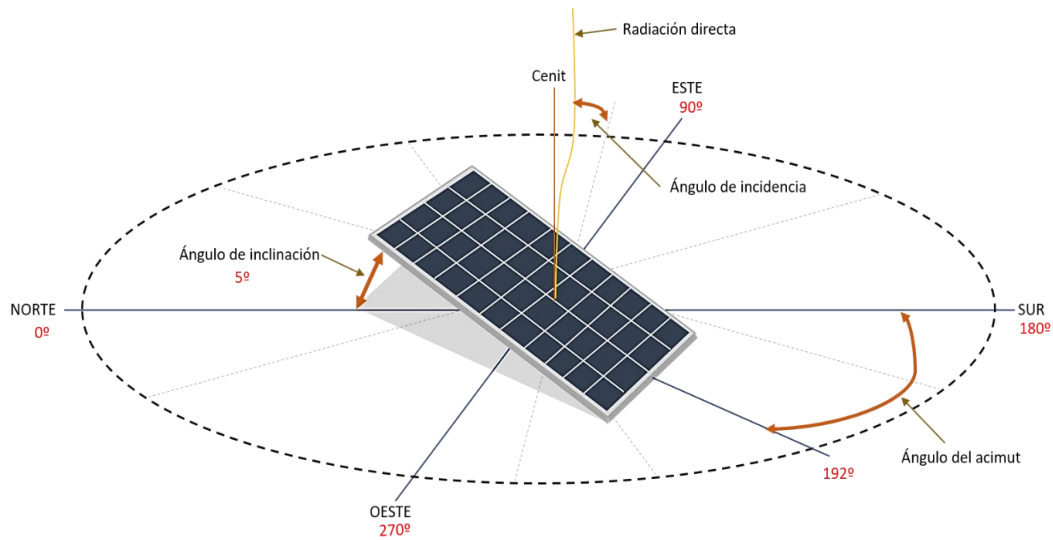


Fig. 26 Inclinación del panel solar

Fuente: Los autores

3.3.2.1 Determinación del ángulo de inclinación.

El ángulo óptimo de inclinación de un panel solar se determina a partir de las coordenadas geográficas en donde se instalará el sistema fotovoltaico, las coordenadas de latitud y longitud de la ubicación del sistema se pueden encontrar a través de sistemas de posicionamiento global GPS o por distintas aplicaciones tecnológicas de libre acceso.

El ángulo óptimo de inclinación (β) para la instalación de los módulos fotovoltaicos en función de la latitud (ϕ), se deriva de la siguiente ecuación. (Nema, 2013)

$$\beta = 3,7 + 0,69 * \phi \quad (1)$$

Ecuador debido a su posición geográfica es uno de los países más privilegiados para aprovechar la energía solar con un ángulo de inclinación que oscila entre 0° a 12°.

3.3.3 Análisis de sombras.

Al realizar un diseño fotovoltaico es de suma importancia realizar un análisis técnico para determinar la ubicación de los paneles solares donde se debe considerar las edificaciones, arbustos y demás objetos que obstaculicen una radiación directa sobre los paneles solares, lo cual generaría proyección de sombras temporales y en el peor de los casos podrían proyectar sombras permanentes sobre un porcentaje de la superficie o sobre toda la superficie del panel solar, reduciendo la generación eléctrica lo que conlleva a tener un ineficiente rendimiento del sistema. (Méndez, 2007)

Las celdas en un panel solar por lo general se conectan en serie para obtener un mayor voltaje generando una producción eficiente de energía eléctrica, por lo tanto, cuando existe una sombra que tiene incidencia, aunque sea en una sola célula solar, la corriente de todas las células en la cadena está determinada por la célula que menor corriente genera, es decir cuando una célula está sombreada, el rendimiento de toda la serie se iguala cuando toda la serie estuviera sombreada.

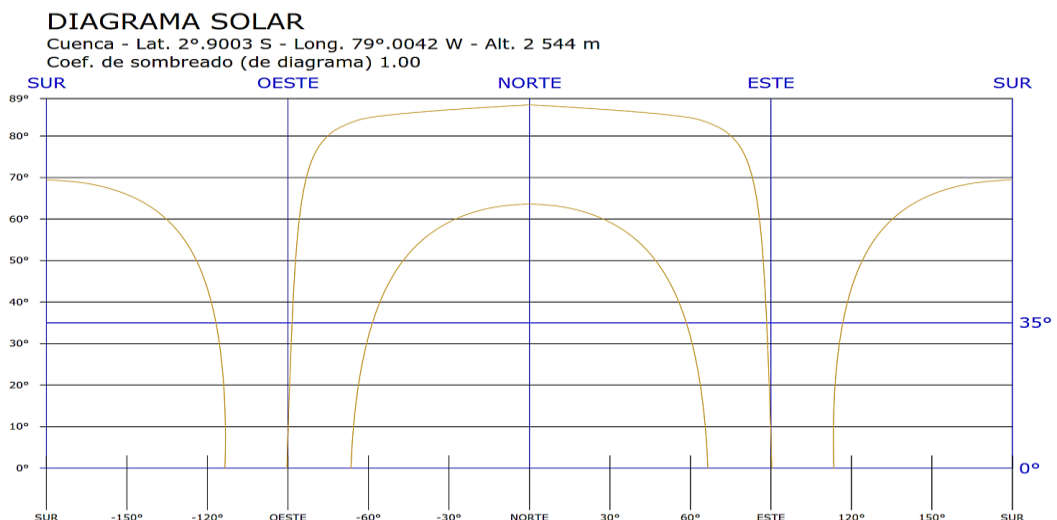


Fig. 27 Coeficiente de sombreado

Fuente: Los autores

De acuerdo a lo mencionado en la instalación se incluyen diodos de derivación conectados en paralelo a las células solares, lo que proporciona una línea de corriente permitiendo que la

cadena de células solares genere menor voltaje manteniendo una mínima reducción de corriente para mantener el sistema dentro del rango óptimo de funcionamiento. (Nema, 2013)

Para el análisis de sombras existen modelos matemáticos que pueden determinar la sombra solar y proporcionar datos más exactos sobre la energía que en realidad puede generar el sistema fotovoltaico.

$$h = \frac{D * \tan \alpha}{\cos(\phi - \psi)} \quad (2)$$

$$w = D * \tan(\phi - \psi) \quad (3)$$

$$y = \arctan \frac{\tan \alpha}{\cos(\phi - \psi)} \quad (4)$$

De acuerdo a los objetos que las generan, existen distintos tipos de sombras que afectan el rendimiento del panel solar.

3.3.3.1 Sombreado temporal.

Este tipo de sombreado se origina por la caída de hojas, polvo, excremento de aves, la posición de las nubes y diversos factores que generen suciedad, es por ello que los paneles son colocados con una inclinación adecuada para que puedan ser limpiados con la lluvia.

3.3.3.2 Sombreado permanente.

Es generado por los elementos que conforman la base y el soporte donde se ubican los paneles solares y por el entorno; como puede ser arbustos, edificaciones, redes eléctricas, etc. El sombreado permanente requiere un análisis más exhaustivo debido a que involucran una reducción de generación eléctrica constante.

3.4 Curvas voltaje-corriente y voltaje-potencia

3.4.1 Curva Corriente-Voltaje.

Las gráficas de la curva de I-V del diseño del panel solar nos permiten determinar el comportamiento del mismo, con relación a la temperatura y la irradiación y su efecto sobre el voltaje y corriente de salida, a partir de este análisis el panel solar es configurado para garantizar un óptimo funcionamiento con su potencia pico. La temperatura y la irradiación son factores que varían directamente el voltaje y el punto de potencia pico en el sistema fotovoltaico.

A través del análisis de corriente – voltaje se determina el rendimiento de los paneles solares, la corriente de cortocircuito, el voltaje del circuito abierto, la corriente máxima, el voltaje máximo, la potencia máxima y la eficiencia del panel solar.

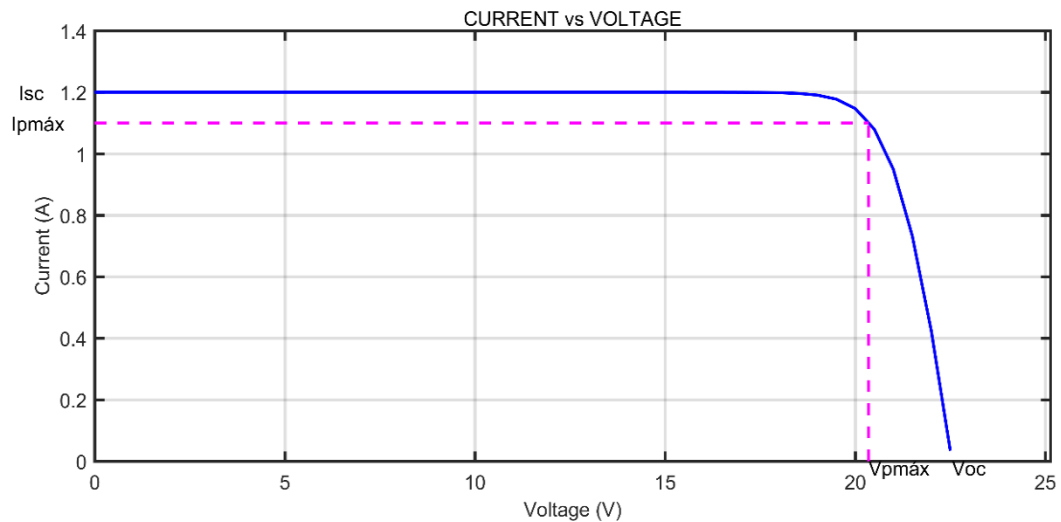


Fig. 28 Curva I-V de un panel solar

Fuente: Los autores

3.4.1.1 Efectos de la radiación solar.

Al tener una radiación solar variable en el tiempo, esta incide directamente sobre la corriente que genera el panel solar, es por ello que la orientación y la ubicación son puntos importantes a la hora de diseñar el sistema fotovoltaico para obtener el máximo aprovechamiento del mismo.

Existen varios parámetros que pueden generar una irradiación excesiva sobre el sistema fotovoltaico.

- Reducción de la masa de aire: La masa de aire es la proporción de la atmósfera por el cual la luz debe atravesar antes de llegar a la superficie terrestre, es por ello que cuantifica el aumento en la potencia de la luz a medida que pasa a través de la atmósfera, siendo consecuencia de un volumen menor de aire.
- Reflejo de luz solar ambiental: las variables eléctricas en los bornes de salida pueden variar por una mayor irradiancia sobre el panel solar debido al reflejo de la luz solar sobre superficies brillantes como el agua o los cristales.
- Efecto de borde de nube: La irradiación solar se reduce en intensidad cuando las nubes generan sombras, caso contrario el resultado es un incremento en el voltaje de salida del sistema fotovoltaico.

De acuerdo a lo mencionado se determina que variará la curva voltaje-corriente en función de la irradiancia que reciba, las distintas curvas generalmente vienen especificadas en la ficha técnica del panel.

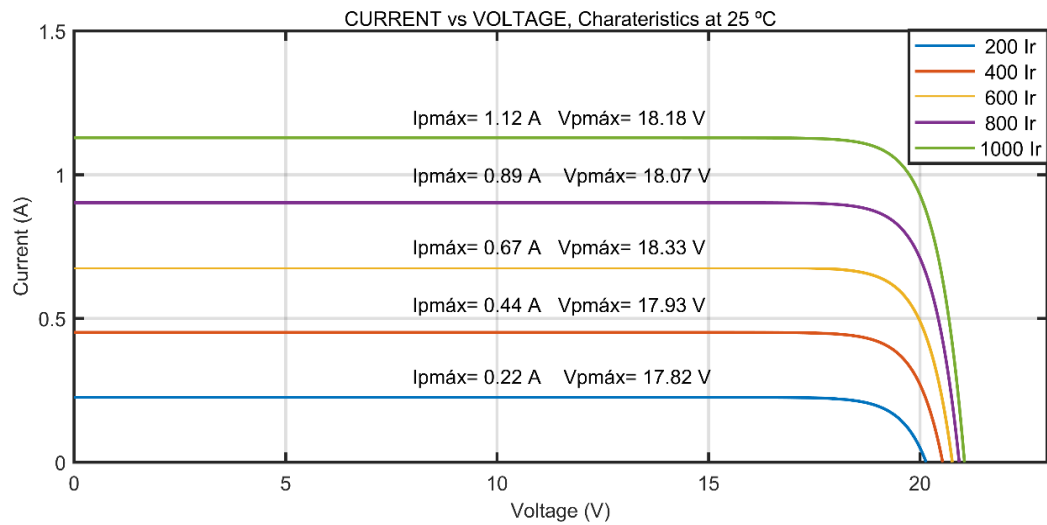


Fig. 29 Curvas I-V de un panel solar en funci3n de la irradiancia

Fuente: Mathworks.com

3.4.1.2 Efectos de la temperatura.

La temperatura tiene un efecto importante con relaci3n a la eficiencia el3ctrica del dispositivo fotovoltaico, siendo directamente proporcional la tasa de generaci3n de protones y los niveles de temperatura que influyen en el sistema, por lo que la corriente de saturaci3n inversa aumenta, el voltaje generado por la celda solar se reduce conforme aumenta la temperatura que incide sobre el dispositivo fotovoltaico. La temperatura influye negativamente al rendimiento de la celda solar, por lo tanto, los m3dulos fotovoltaicos tienen un rendimiento 3ptimo en climas fr3os y soleados, lo cual no sucede con climas c3lidos y soleados. Sin embargo, existen las c3lulas sin silicio las cuales tienen un rendimiento 3ptimo sin verse afectadas por la variaci3n de temperatura.

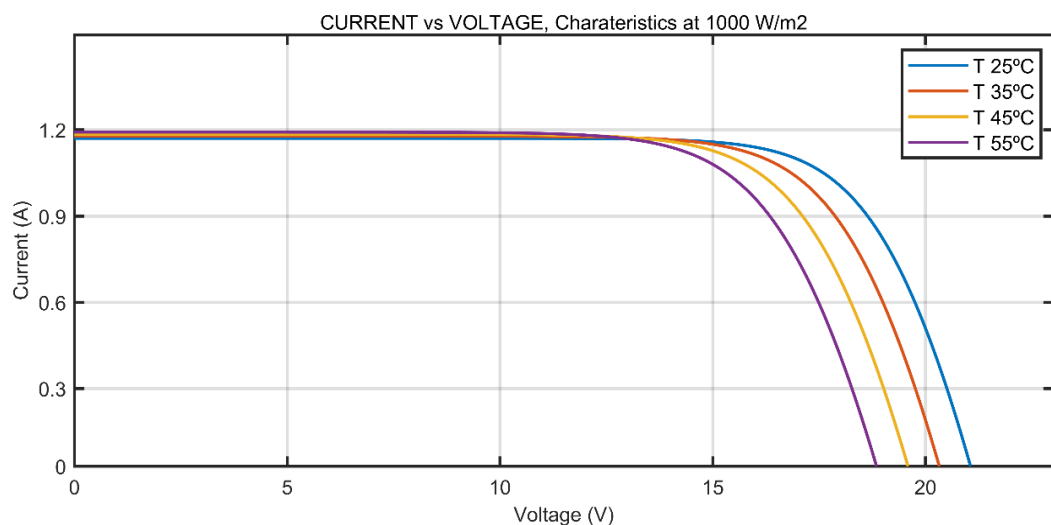


Fig. 30 Curvas I-V de un panel solar en funci3n de la temperatura

Fuente: Mathworks.com

En la figura 30, se muestra como la temperatura es un factor importante en la generación de pérdidas en un módulo fotovoltaico, debido a que al aumentar la temperatura aumenta la corriente y se reduce el voltaje, lo cual provoca una pérdida de potencia en el sistema.

3.4.2 Curva Voltaje-Potencia.

Es importante realizar simulaciones del comportamiento de los paneles solares con relación a la temperatura y a la irradiación y su efecto sobre el voltaje y potencia del mismo, para realizar una comparación entre los modelos teóricos y las curvas obtenidas en la simulación. A partir de este análisis el panel solar es configurado para garantizar un óptimo funcionamiento con su potencia pico.

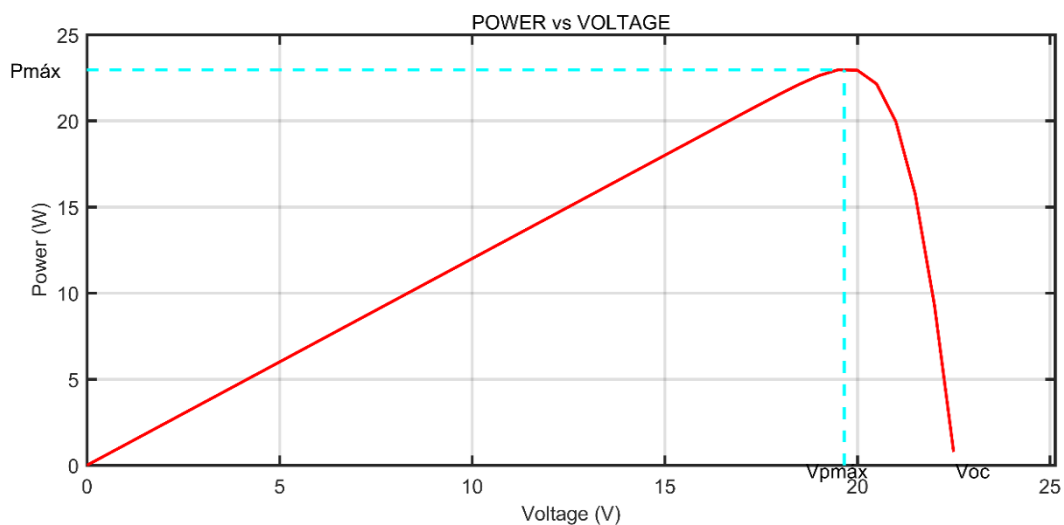


Fig. 31 Curva P-V de un panel solar

Fuente: Los autores

3.4.2.1 Efectos de la radiación solar.

La irradiancia es un factor de vital importancia que define el potencial de generación eléctrica del panel solar, debido a que incide principalmente en la corriente del panel solar y al ser la potencia directamente proporcional al nivel de corriente generado, se determina que variará la curva potencia-voltaje en función de la irradiancia que reciba, las distintas curvas generalmente vienen especificadas en la ficha técnica del panel, mismas que deben ser comparadas con las obtenidas en la simulación.

Como podemos observar en la figura 32, obtenemos una potencia de 20.78 W para una irradiancia de 1000 W/m² y conforme la irradiancia decrece los niveles de potencia también decrecen.

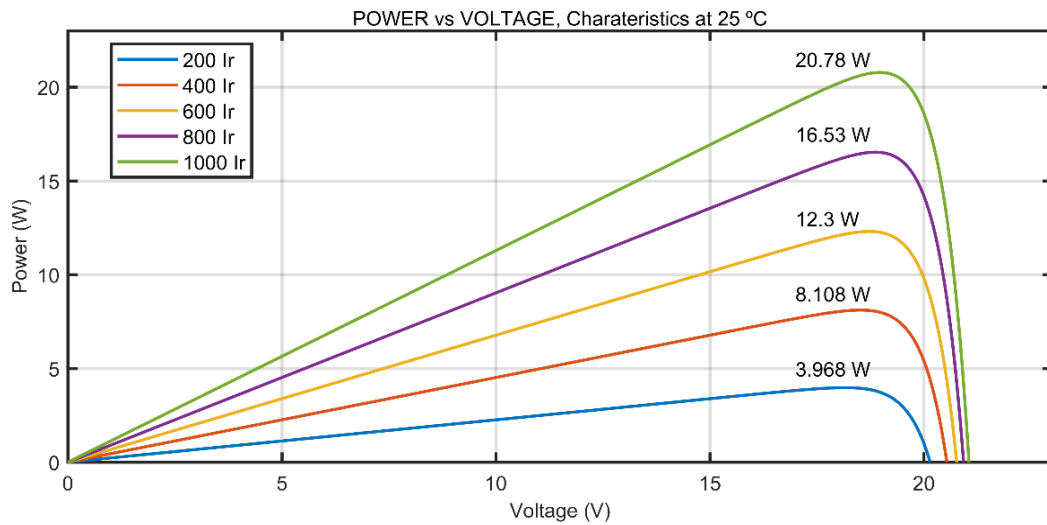


Fig. 32 Curvas P-V de un panel solar en función de la temperatura

Fuente: mathworks.com

3.5 Seguidor del punto de máxima potencia MPPT

Son dispositivos electrónicos capaces de maximizar la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos a través de algoritmos, es decir aprovechan la mayor cantidad de energía generada, independientemente de la radiación y la temperatura existente en ese momento, logrando de esta manera un mayor rendimiento de los módulos fotovoltaicos. (S. Singh, 2013)

Se usa este tipo de reguladores para evitar pérdidas o fallas en el sistema debido a la variación de potencia generada por los paneles solares en los diferentes cambios climáticos, con este sistema nos aseguramos de que el panel solar entregue de manera constante el punto máximo de potencia.

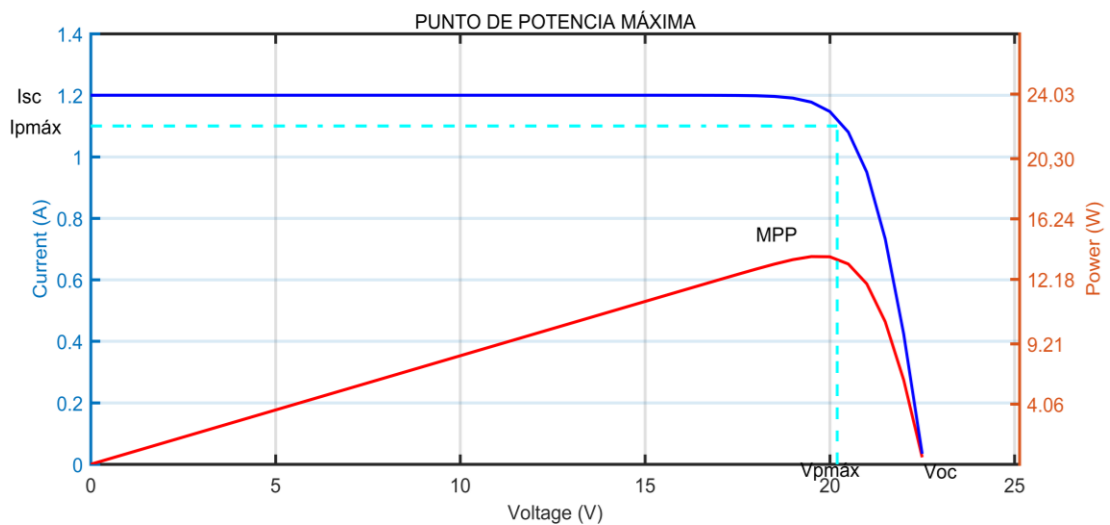


Fig. 33 Punto de potencia máxima

Fuente: Los autores

Un regulador MPPT es utilizado en las siguientes condiciones.

- Sistemas en los que la batería sufre descargas profundas.
- En climas fríos, ya que las bajas temperaturas incrementan el valor de la tensión del punto de máxima potencia, a niveles superiores a los requeridos por las baterías.
- Condiciones climáticas malas donde se necesite urgente cualquier cantidad extra de energía.

Este regulador es técnicamente una variación del regulador PWM, ya que contiene un circuito electrónico de manejo de potencia, un reductor DC-DC, el cual tiene como función reducir una potencia entrante relativamente alta, a una de salida relativamente baja para poder alimentar a las baterías dependiendo la potencia de cada una de ellas.

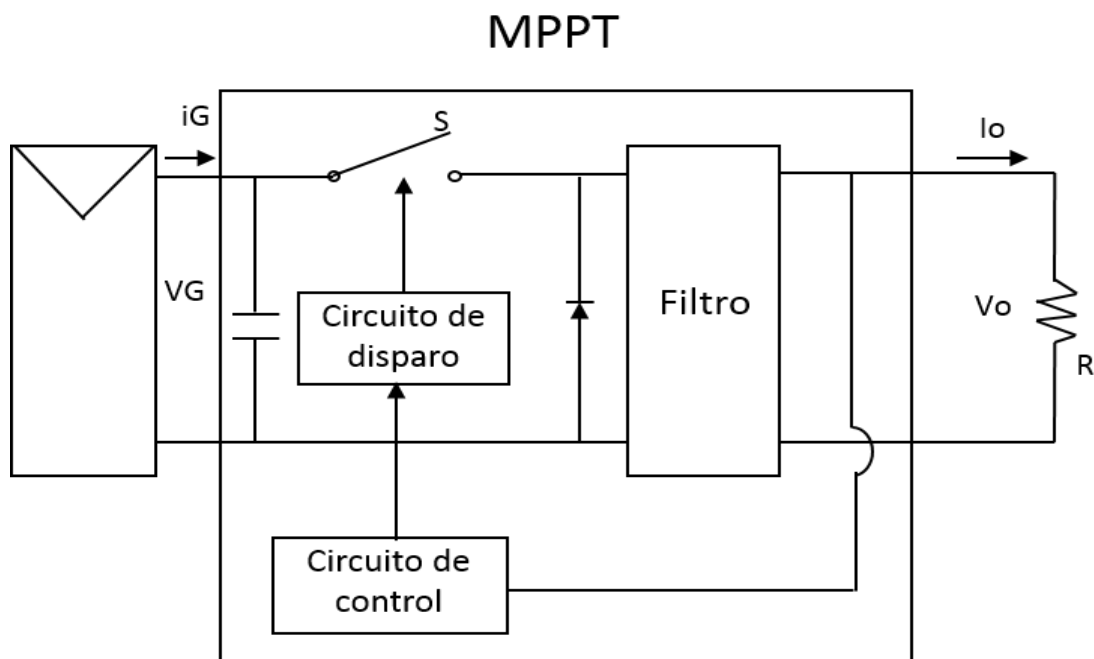


Fig. 34 Diagrama seguidor del punto de máxima potencia (MPPT)

Fuente: Los autores

Estos controladores constan con un limitador de corriente, y dispositivos de switcheo o conmutación para conseguir una máxima producción de las placas solares y no sobrepasar la corriente máxima tolerada por las baterías cuando la potencia de entrada suba transitoriamente, esto debido a que este tipo de controladores monitorean a cada instante la radiación solar recibida permitiendo mantener al sistema trabajando en el punto máximo de potencia. Además, de ello modulan el voltaje del panel y lo adapta a las características de las

baterías conectadas logrando obtener una producción energética de hasta un 30% más que un controlador PWM. (S. Ramyaka, 2015)

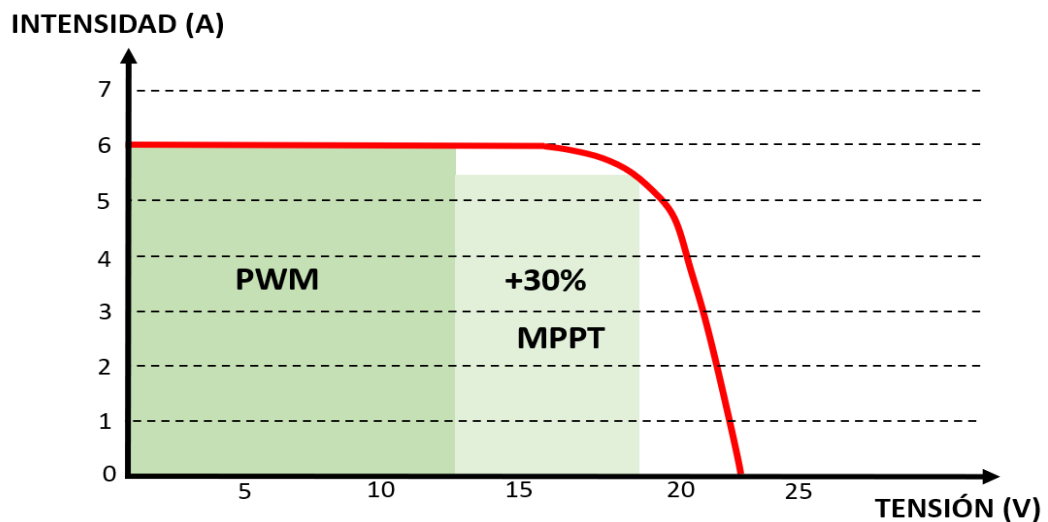


Fig. 35 Energía generada con PWM y MPPT

Fuente: Los autores

Para el dimensionamiento del regulador MPPT es necesario tener en cuenta la potencia pico del generador fotovoltaico y la tensión nominal del banco de baterías, para garantizar la máxima transferencia de potencia el Seguidor del Punto Máximo de Potencia (MPPT) se debe colocar entre el módulo fotovoltaico y la batería.

La potencia de salida de un regulador MPPT varía de acuerdo a la carga existente en la batería ya sea que el regulador detecte que la carga de la batería disminuya o aumente, activando y desactivando el transistor el mismo que funciona como un interruptor. Variando así la carga y descarga del condensador y de la bobina, la misma que hace que los valores de voltajes y corriente se modifiquen en función de la velocidad de interrupción del transistor. (S. Singh, 2013)

3.5.1 Fases de carga de las baterías.

Este tipo de controladores de tipo MPPT tienen un régimen de carga de la batería que consta de 4 etapas.

- Carga completa
- Absorción
- Ecualización
- Flotación

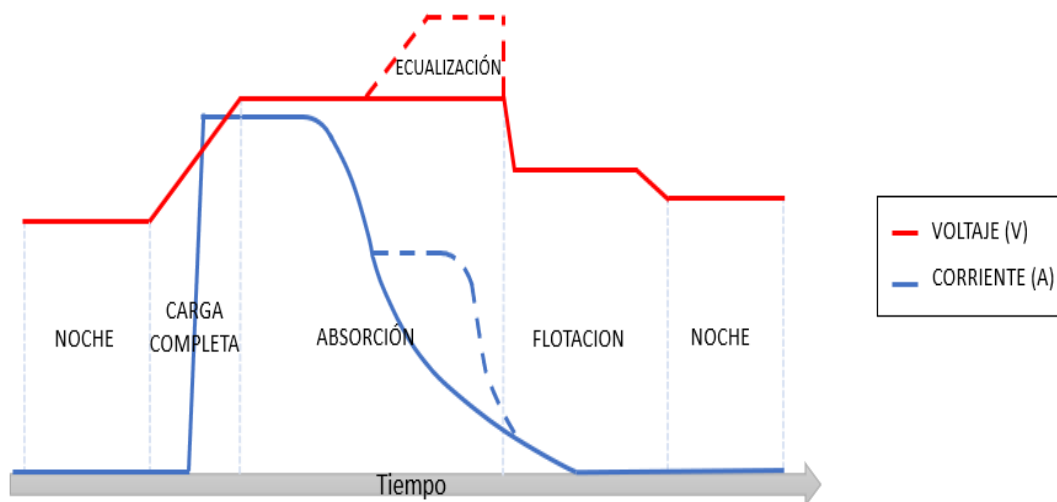


Fig. 36 Fases en la carga de una batería

Fuente: Los autores

3.5.2 Conexión del MPPT con el sistema fotovoltaico.

- Primero se deberá conectar el controlador MPPT a las baterías, debido a que, si se conecta primero al módulo fotovoltaico, los condensadores de salida de la unidad serán considerados como cargas y debido a esto podrían dañarse.
- Los terminales negativos de las baterías y del sistema fotovoltaico no deben estar conectados a la misma tierra, estos deberán de estar conectados de forma independiente.
- Para desconectar el sistema primero se deberá desconectar el controlador MPPT de los módulos fotovoltaicos y posteriormente las baterías.

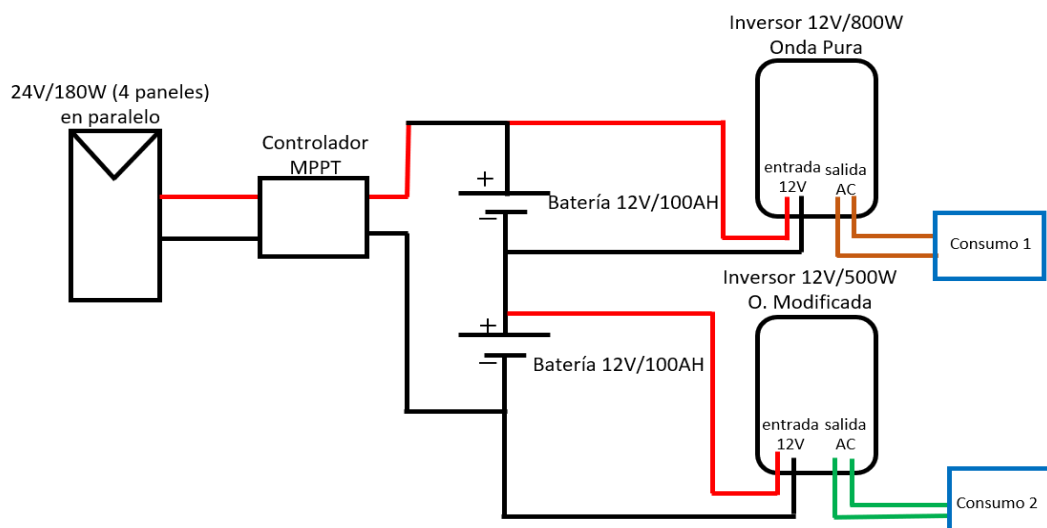


Fig. 37 Esquema de conexión del MPPT

Fuente: Los autores

3.5.3 Ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Se obtiene en todo momento la máxima potencia del generador fotovoltaico.
- Mayor aprovechamiento de la energía solar
- El MPPT ajusta automáticamente la potencia de salida del módulo fotovoltaico con muy pocas pérdidas.
- Prolonga la vida útil de las baterías.
- Permite usar un voltaje de generación más elevado que el nominal del sistema, dado que incorpora un conversor DC/DC.
- Pueden ser utilizados con paneles de 60 células.
- Posibilidad de sobredimensionar los paneles solares para épocas de poca radiación solar.

Desventajas:

- Complejidad de estos dispositivos hace que sean más caros.

3.5.4 Métodos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).

3.5.4.1 Método de perturbación y observación.

Su funcionamiento está basado en generar una variación en el ciclo de trabajo del regulador, y realizar el análisis de todos los efectos que conlleva ejecutar esta variación en el punto de trabajo. Al variar el ciclo de trabajo la corriente extraída del panel solar sufre modificaciones lo cual conlleva directamente a un cambio en el nivel de potencia. Si en los datos obtenidos se observa un incremento en la potencia se ingresa nuevamente una perturbación con el mismo sentido que la última perturbación, sin embargo, se ingresará una perturbación con el sentido opuesto cuando exista una disminución en la potencia. Con esto se trata de alcanzar el punto de potencia máxima (MPP), y se procederá a oscilar en torno a él. Si las condiciones meteorológicas varían se repite el proceso de búsqueda anteriormente mencionado hasta volver a encontrar el MPP. (S. Ramyaka, 2015)

3.5.4.2 Método de conductancia incremental.

Su principio de funcionamiento se basa en el cálculo de las derivadas de la tensión y de la corriente, por lo que el algoritmo empleará en su lugar, los incrementos producidos en estas magnitudes para pequeños incrementos de tiempo, además, ofrece un buen rendimiento y una rápida respuesta ante cambios en las condiciones meteorológicas.

Este método realiza una comparación de los valores de conductancia instantánea con la primera parte de esta, conocida como inductancia incremental para posicionar el punto de operación respecto al MPP. Una vez alcanzado el MPP, el punto de operación se mantiene sin ninguna oscilación hasta que no se detecta algún cambio en la corriente, debido a que las condiciones atmosféricas han variado.

3.5.4.3 Método de tensión constante.

Este método es conocido también como el método del voltaje abierto ya que se basa en la relación entre el voltaje de circuito abierto del módulo fotovoltaico y el voltaje al que el módulo fotovoltaico da la potencia máxima.

En el método MPPT de voltaje constante la potencia suministrada a la carga se interrumpe momentáneamente y se mide la tensión de circuito abierto con corriente cero. Luego, el controlador reanuda la operación con la tensión controlada a una relación fija, como 0.76, del voltaje de circuito abierto. Este suele ser un valor que se ha determinado que es el punto de máxima potencia, ya sea empíricamente o basado en el modelado, para las condiciones operativas esperadas.

3.5.4.4 Método por control en modo deslizante.

Este método se basa en el uso de una señal de control que permuta en alta frecuencia permitiendo de esta manera que el sistema se encuentre en campo escalar, la estructura del control varía de tal forma que un punto representativo del sistema siga una trayectoria definida. Las ventajas que presenta este método es que son más estables y tienen un mayor grado de precisión.

CAPITULO 4

4. MODELADO Y SIMULACIÓN

4.1 Modelado de un panel solar considerando la irradiación solar y la temperatura

4.1.1 Variables.

- **Latitud:** Se denomina latitud a la distancia angular medida desde el ecuador a cualquier punto de la superficie de la tierra, misma que esta medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto, dependiendo en qué punto del hemisferio está situado, puede ser latitud norte o sur. (Stern, 2021)
- **Longitud:** La longitud (λ) es la distancia angular entre el meridiano de un lugar y el de Greenwich, se expresa en grados, minutos y segundos de arco y se mide de 0° a 180° hacia el Este o hacia el Oeste desde el meridiano de Greenwich.
- **Irradiación:** Es un fenómeno físico que se produce por las emisiones de energía en forma de radiaciones electromagnéticas por parte del sol; y su unidad de medida es el Wh/m².
- **Irradiancia (W/m²):** Esta magnitud determina la potencia incidente de la radiación solar en una unidad de superficie.
- **Reflectancia:** Es la capacidad que tiene un cuerpo para reflejar la luz solar, por tanto, la reflectancia es la relación entre la potencia electromagnética incidente con respecto a la potencia que es reflejada por una interfaz, se lo conoce como coeficiente de reflexión. (Stern, 2021)
- **Índice de claridad del cielo:** Se define como la relación entre la radiación global y la radiación extraterrestre.
- **Diagrama solar de Ecuador:** Sobre el plano ecuatorial, la duración de los días y de las noches es invariablemente de doce horas. Del 21 de marzo al 21 de septiembre, está siempre al norte y en la otra mitad del año está siempre al sur.

4.1.2 Simuladores.

Para tener una mejor precisión y datos más exactos se ha optado por realizar una comparación entre distintos softwares que se encargan de medir la radiación en todo el planeta, en este caso los datos están enfocados en la parroquia Quingeo donde se va realizar el proyecto.

4.1.2.1 Solargis prospect.

Esta es una Herramienta de prospección solar para evaluar la pre viabilidad de proyectos de forma rápida y confiable, en este software es posible la configuración de todos los parámetros de estudio para el Proyecto, una vez seleccionada la ubicación podemos apreciar lo siguiente: (Solargis, 2021)

4.1.2.1.1 Ubicación y leyenda de radiación.

En la figura es posible apreciar el índice de radiación de la Parroquia Quingeo tomada desde el software Solargis, en la cual se puede observar que cuenta con una GHI de 1687kWh/m², en la siguiente tabla se muestra toda la información de este proyecto.

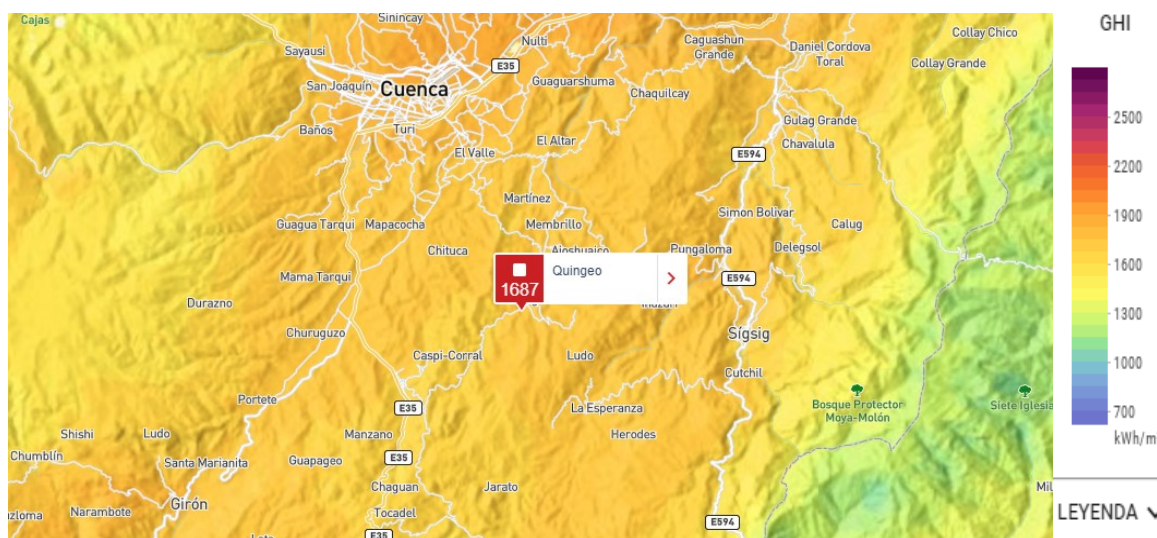


Fig. 38 Mapa de irradiación solar vista desde solargis

Fuente: www.solargis.com

Tabla 3 Información del Proyecto

Project name	Quingeo
Address	Quingeo, Azuay, Ecuador
Geographical coordinates	-3.039726, -78.936768 (-03°02'23", -78°56'12")
Time zone	UTC-05, America/Guayaquil [ECT]
Elevation	2757 m
Land cover	Mosaic natural vegetation (>50%) / cropland
Terrain azimuth	31°
Terrain slope	7°

Fuente: www.solargis.com

Gracias a este software se obtuvieron las siguientes tablas y sus respectivas gráficas donde se analizarán los valores de Irradiancia y Temperatura.

4.1.2.1.2 Irradiancia.

En la figura 39 se observa los valores promedios mensuales de la Irradiancia Global Horizontal (GHI) de la Parroquia Quingeo, donde se observa que en el mes de junio se tiene un menor índice de Irradiación de 4184 kWh/m², mientras tanto que el mes de noviembre tenemos la irradiación más alta con un valor de 5020 kWh/m².

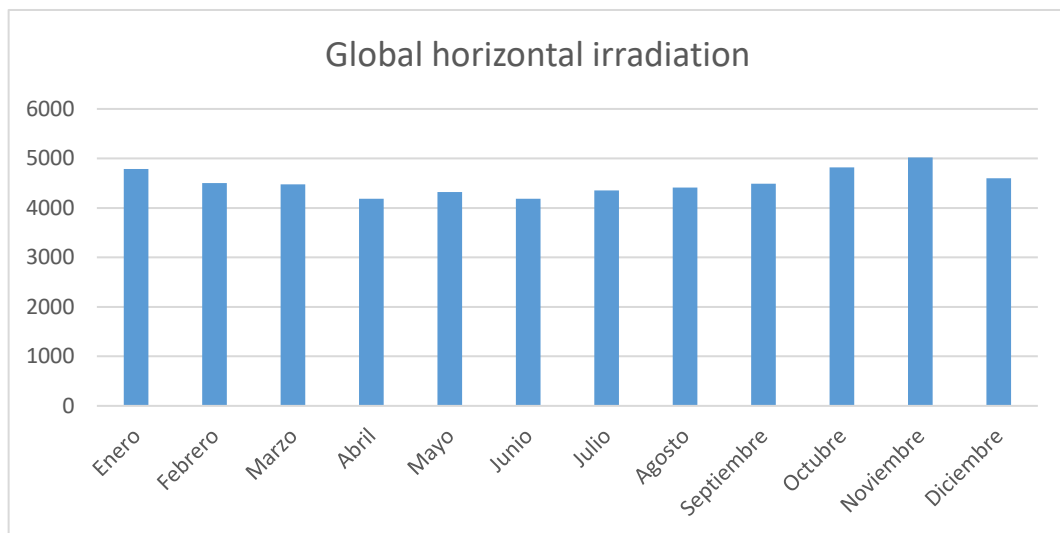


Fig. 39 Irradiación promedio por mes

Fuente: Los autores

4.1.2.1.3 Temperatura.

La figura 40 muestra un histograma de la variación de la temperatura en todos los meses del año teniendo una temperatura constante en los meses de diciembre hasta abril, y la menor temperatura en el mes de julio con una temperatura promedio de 11.1°C.

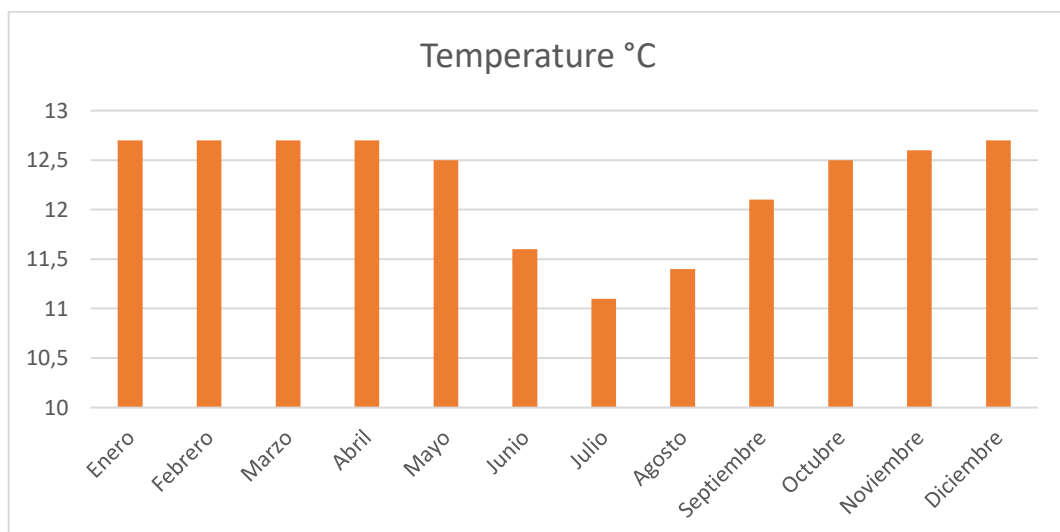


Fig. 40 Temperatura promedio por mes

Fuente: Los autores

4.1.2.2 HOMER (Modelo de Optimización Híbrida para Recursos Energéticos Múltiples).

Este software permite simular un sistema viable para todas las combinaciones posibles de equipos que se desean considerar en una instalación esto va dependiendo de cómo se configure el sistema en el caso de la energía solar fotovoltaica nos permite la obtención de datos de un promedio de 30 años. (PRO, 2020)

Gracias a la Ubicación geográfica de nuestro país es posible el uso y aplicación de este tipo de fuente de energía renovable como es la Energía Solar Fotovoltaica, para la Parroquia Quingeo se obtuvieron los siguientes datos, tanto para la Irradiancia y Temperatura respectivamente con su gráfica.

4.1.2.2.1 Irradiancia.

En la figura 41 se observan los valores promedios de la variación mensual de la Irradiancia Global Horizontal (GHI) de la Parroquia Quingeo, mismo que tiene su menor valor en el mes de Julio con 3900 kWh/m² y el mes donde existe mayor GHI es en diciembre con un valor de 4410 kWh/m².

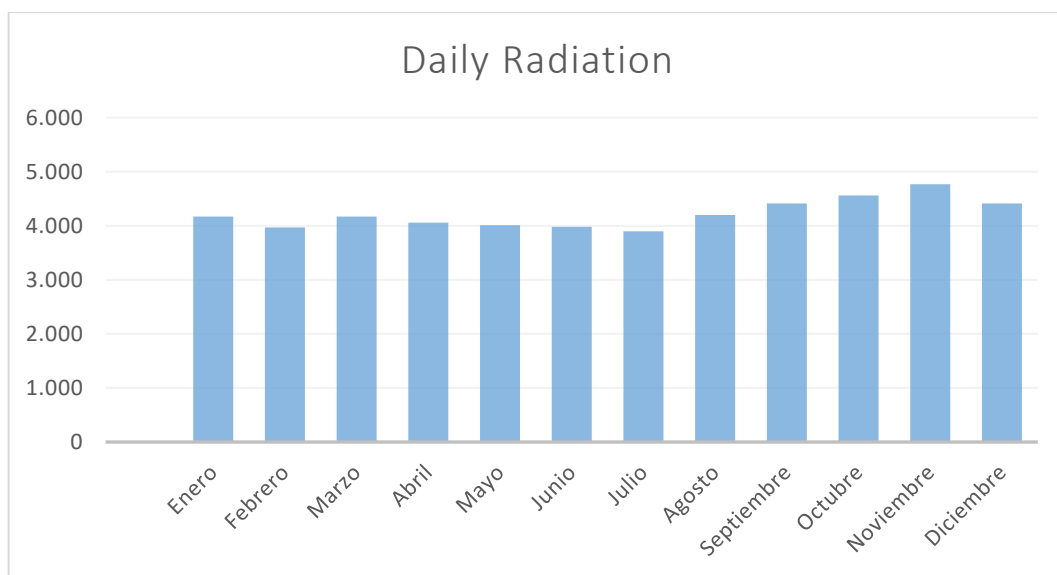


Fig. 41 Irradiación promedio por mes

Fuente: Los autores

4.1.2.2.2 Temperatura.

La figura 42 muestra un histograma de la variación de la temperatura en todos los meses del año teniendo una temperatura mayor de 15.64°C en el mes de diciembre, y la menor en julio con una temperatura promedio de 13.04°C.

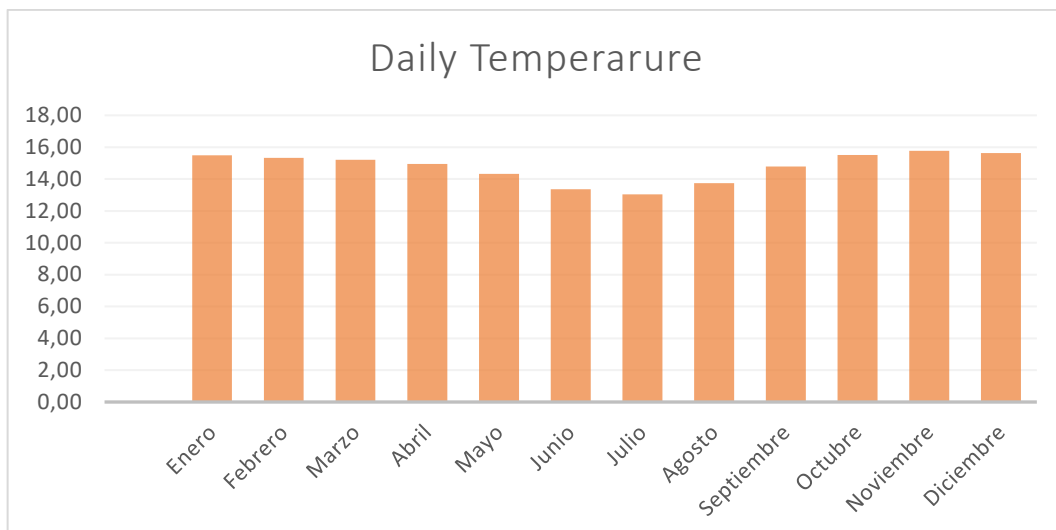


Fig. 42 Temperatura promedio por mes

Fuente: Los autores

4.2 Irradiación solar y temperatura

La gran variedad de condiciones atmosféricas y topográficas del Azuay, genera una enorme diversidad de situaciones de radiación que obviamente condicionan los cálculos del tamaño de una instalación para que cubra una determinada demanda, es así que se ha determinado que la Parroquia de Quingeo perteneciente al cantón Cuenca cuenta con una gran factibilidad para la implementación del diseño e instalación de un sistema fotovoltaico.

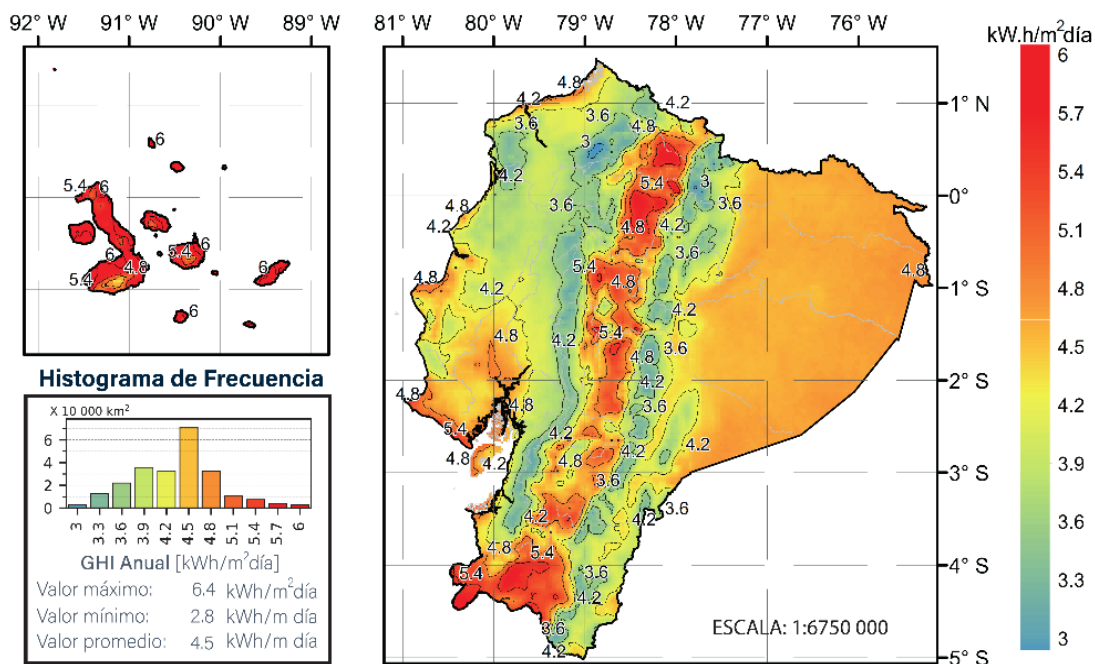


Fig. 43 Atlas solar del Ecuador – GHI Anual

Fuente: www.ESCYENERGY.com

4.2.1 Hora solar pico HSP.

Aplicando los cálculos con la irradiación promedio se obtiene la hora solar pico mensual, mediante la cual se determina que la hora solar pico promedio es de 4,51; con un valor mínimo de 4,18 y máximo de 5,2 registrados en junio y noviembre respectivamente.

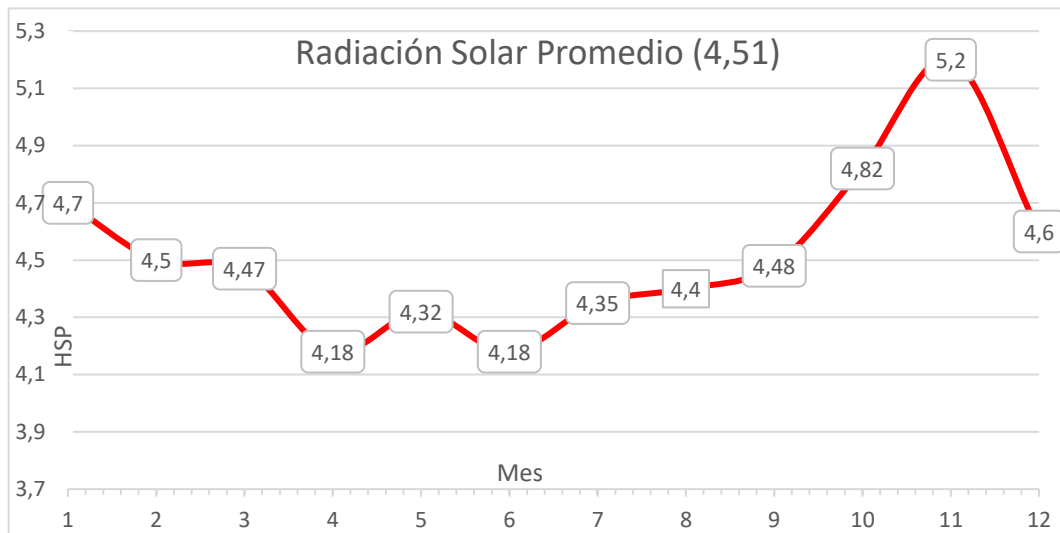


Fig. 44 Variación mensual de la hora pico

Fuente: Los autores

4.3 Modelo matemático utilizando software especializado

Se han desarrollado diferentes modelos matemáticos de paneles fotovoltaicos, pero todos los modelos se enfocan en la relación resultante de corriente-voltaje de un diodo donde la corriente está en función de la radiación solar.

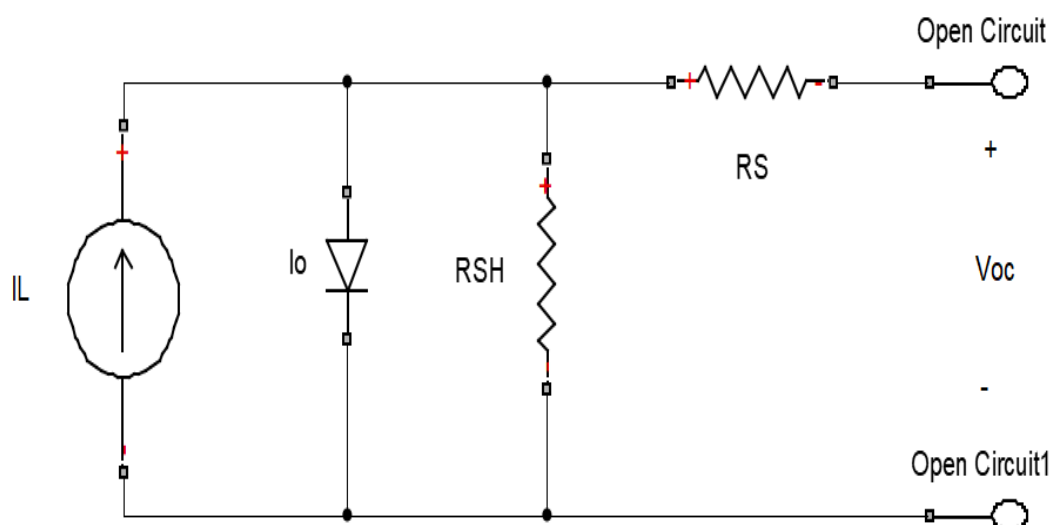


Fig. 45 Circuito equivalente de una célula fotovoltaica

Fuente: Los autores

En la figura 45 se encuentra representada la célula solar en forma de un diodo, mediante la cual se analiza el comportamiento de un panel que se modela a partir del circuito equivalente, misma que se encuentra compuesta a partir de una fuente de corriente dependiente de la radiación solar I_l un diodo determinado por su corriente de oscuridad I_o y dos resistencias de pérdidas, R_S y R_{RSH} . En la siguiente figura se puede observar su estructura donde la parte que recibe la radiación solar es el tipo N y la parte situada en la zona de oscuridad, tipo P. (Inguil, 2014)

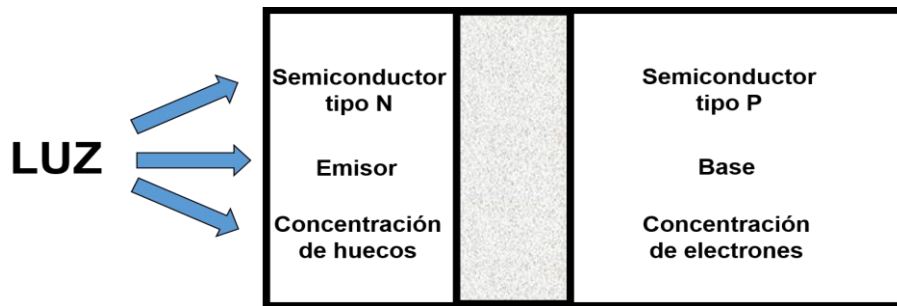


Fig. 46 Composición n-p de una célula fotovoltaica

Fuente: Los autores

Como se observa en la figura 45 tenemos un circuito que para lograr la obtención de su corriente total generada por la célula solar (I), es posible la aplicación de la ley de corrientes de Kirchhoff ya que con esto las corrientes de cada malla se puede analizar y poner en manifiesto los parámetros utilizados, la ecuación que se obtiene es la siguiente.

$$I = I_l - I_o - (V_{oc} + R_S * I / R_{SH}) \quad (5)$$

En donde I_l representa la corriente de iluminación misma que se obtiene al momento de que la radiación solar incide sobre la célula, a la vez I_o representa a corriente de oscuridad todo esto es debido a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce al interior de un semiconductor y se determina por medio de un diodo real y está dada por la ecuación de Shockley para I_o . (Inguil, 2014)

$$I_o = I_S * (e^{v/n * V_T} - 1) \quad (6)$$

En donde:

- I_S Corriente de saturación inversa.
- n Coeficiente de emisión.
- V Voltaje en los electrodos de la célula solar.
- V_T Voltaje térmico de la célula solar definida según la ecuación 7.

$$V_T = kT / q \quad (7)$$

En donde:

- k Constante de Boltzman $1,38 \times 10^{-23} [J/oK]$.
- q Carga del electrón $1,6 \times 10^{-19} [C]$.
- T Temperatura absoluta de la célula solar.

En la ecuación 7, luego de remplazar las constantes y pasar los grados Kelvin a grados Centígrados queda expresada la ecuación 8.

$$VT = 0,081615 * (t + 273,18) \quad (8)$$

En donde:

- t Temperatura [$^{\circ}C$]
- V_T Voltaje térmico [mV]

De esta forma la corriente foto-generada dependerá de la forma lineal del efecto de la radiación, en donde la corriente de cortocircuito para la condición de tensión cero y despreciando el efecto de la resistencia.

$$I_{SC} = I_l \quad (9)$$

Al aplicar la ecuación 5 es posible obtener el valor de la corriente generada en una célula sola misma que está dada por:

$$I = I_{SC} - I_0 * (e^{v/V_T} - 1) \quad (10)$$

Donde I_{SC} e I_0 están relacionadas respectivamente con J_{SC} y J_0 , por lo que la corriente generada dependerá del área en la cual la célula solar va a captar la energía proveniente del sol, obteniendo las dos ecuaciones 7 y 8 de la siguiente manera:

$$I_{SC} = A * J_{SC} \quad (11)$$

$$I_0 = A * J_0 \quad (12)$$

Donde:

- A Área Total del dispositivo [m^2].
- J_{SC} Densidad de corriente de cortocircuito [A/m^2].
- J_0 Densidad de saturación en [A/m^2].

Uno de los parámetros más importantes a considerar y conocer es la potencia que genera la célula solar, misma que está definida mediante la ecuación 13.

$$P = P * I = V * [I_t - I_0 * (e^{\frac{v}{VT}} - 1)] \quad (13)$$

Donde la potencia va a ser igual al producto del voltaje generado en las terminales de la célula solar y la corriente de salida que se encuentra fluyendo hacia la carga, debiendo tomar en cuenta su signo ya que de esto dependerá que si es de signo positivo se deduce que la potencia va hacia la carga y si esta es de signo negativo se dice que viene desde la carga.

Al ser un modelado lineal se ve afectado por los datos de la radiación solar y de la temperatura ambiente, misma que es usada de referencia para la temperatura del panel, estos valores tienen un comportamiento variable durante el día, es así que la generación de potencia de la célula fotovoltaica es expresada en la ecuación 14. (Inguil, 2014)

$$P_{PV} = P_{STC} * G_{ISC} / G_{STC} * [1 + k(T_c - T_r)] \quad (14)$$

Donde:

- P_{PV} Potencia generada por el panel solar fotovoltaico.
- P_{STC} Potencia nominal del panel solar fotovoltaico en condiciones de prueba estándar.
- G_{ING} Radiación solar instantánea.
- G_{STC} Radiación solar en condiciones de prueba estándar.
- k Coeficiente de temperatura del silicio con que se fabrica la célula.
- T_r Temperatura referencial de la célula (temperatura ambiente).
- T_c Temperatura de la célula en condiciones de prueba estándar.

El panel solar a ser implementado en el proyecto cuenta con las siguientes características.

Tabla 4 Especificaciones técnicas panel solar

Parámetros	Especificaciones	Valores
P_{STC}	Potencia nominal del panel solar	25 W
G_{STC}	Radiación solar (condiciones de prueba estándar).	1000 W/m ²
T_c	Temperatura de la célula	25° C
k	Coeficiente de temperatura del silicio	0.00441/C

Fuente: Los autores.

4.3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

En esta sección se ha optado realizar los cálculos con valores reales para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a usar, en este se puede obtener y observar la cantidad de dispositivos y materiales a usar en la instalación.

4.3.1.1 Consumo diario.

Al ser un sector donde no existe la presencia de ninguna red eléctrica, vamos a carecer de la presencia de luz, es por ello que se debe dimensionar de la mejor manera posible todo el sistema, en la siguiente tabla se tiene el consumo diario promedio de las luminarias.

Tabla 5 Cuadro de cargas

Equipo	Número	Potencia	horas al Día en Funcionamiento	Wh/día
Iluminación1	1	35	6	210
Iluminación2	1	35	6	210
Iluminación3	1	35	6	210
Consumo Total (Wh/día)				630

Fuente: Los autores.

Según la potencia de las luminarias y horas de funcionamiento tenemos un consumo total de 210 Wh/día por luminaria, en este caso se van a precisar de 3 luminarias mismas que demandaran 630 Wh/día.

4.3.1.2 Corriente pico del sistema.

Para poder determinar de manera adecuada el número de elementos que conformaran el sistema fotovoltaico en primer lugar debemos calcular la corriente pico del sistema, para lo cual necesitamos conocer todos los datos expresados en la siguiente tabla.

Tabla 6 Dato iniciales del sistema fotovoltaico

Carga Total en CC.	630	Wh/día
Voltaje del sistema en CC	12	V
Carga Diaria Corriente CC	52,5	Ah
Radiación Solar	4,1575	HSP
Corriente Pico del Sistema	12,62778112	A

Fuente: Los autores.

Con todos los datos ingresados en las hojas técnicas se determina que para tales condiciones la corriente pico del sistema será de 12.62 A.

4.3.1.3 Dimensionamiento del módulo fotovoltaico.

Con los valores obtenidos en los simuladores y los datos técnicos de los paneles fotovoltaicos ingresados en la siguiente tabla es posible obtener el número de paneles a implementar.

Tabla 7 Calculo de paneles solares a utilizar

Provincia	Azuay	
Período del Año de Uso	Promedio Anual	
Promedio Anual	4,1575	HSP
Ángulo de Inclinação	2,5°	
Potencia Del Panel solar	35	W
Corriente Pico del Módulo	5,72	A
Voltaje Nominal del Módulo CC	12	V
Energía Generada por Módulo	145,5125	Wh
Arreglo de Módulos (Paralelo)	2	
% de Pérdidas	10,00	%
Nº de paneles (Paralelo)	2	
Nº de paneles (Serie)	1	
Nº Total de Módulos	2	

Fuente: Los autores.

4.3.1.4 Dimensionamiento del banco de baterías.

Para el dimensionamiento del banco de baterías se debe preseleccionar los valores que nos otorga el fabricante de las baterías, mismas que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 8 Calculo de baterías a utilizar

Capacidad Nominal de la Batería	20	Ah
---------------------------------	----	----

Días de Autonomía	1	
Profundidad de Descarga	0,6	
Capacidad nominal Banco de Baterías	52,50	Ah
Arreglo de Baterías (Paralelo)	1	
Voltaje Nominal del sistema	3,2	V
Voltaje Nominal de la Batería	3,2	V
Nº de Baterías en Serie	1	
Nº Total de Baterías	3	

Fuente: Los autores.

Se aplicará en el sistema un total de 3 baterías mismas que satisfacen la capacidad de demanda requerida durante la noche para la iluminación del monumento.

4.4 Datos de entrada y curvas de respuesta

Para realizar las simulaciones y modelamiento de las curvas de respuesta se utilizó el Software de Matlab Simulink, a través del diseño del siguiente diagrama de bloques.

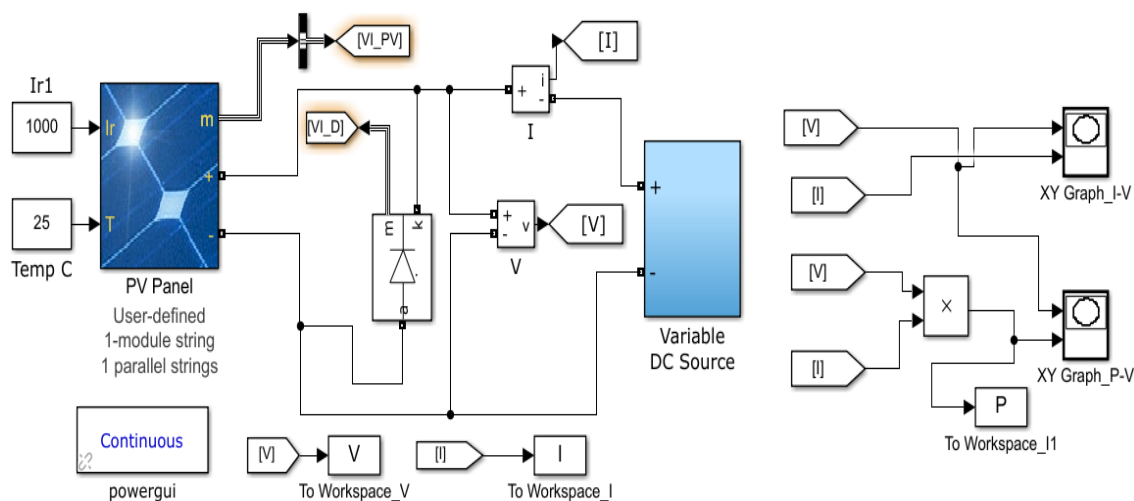


Fig. 47 Diagrama de Bloques Panel Solar

Fuente: Mathworks

En el diagrama se puede observar los valores de la Irradiancia promedio para $I_r = 1000 \text{ kWh/m}^2$ y la temperatura $T = 25^\circ\text{C}$ que capta el panel solar, al ingresar estos datos el software realiza una simulación donde es posible encontrar las curva I-V y P-V.

4.4.1 Curvas Características I – V y P – V del panel solar.

La figura 48 muestra el punto de máxima potencia igual a 25 W, misma que va a entregar el panel con las condiciones ambientales ya analizadas para un voltaje en sus bornes de 6V.

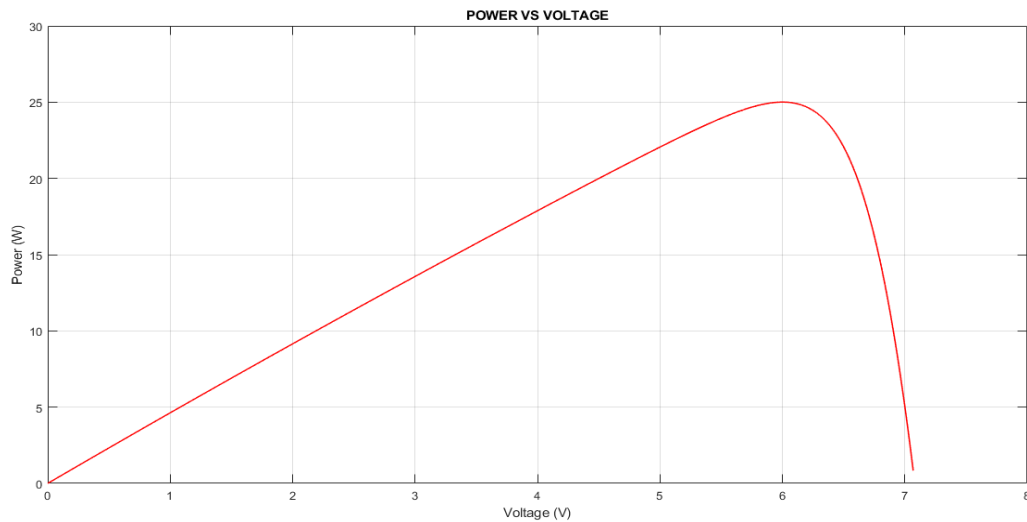


Fig. 48 Curva potencia vs voltaje

Fuente: Los Autores

De la misma manera se grafica la curva de corriente-voltaje como se observa en la figura 49, teniendo un valor máximo de voltaje de 6,3 V se obtiene su corriente máxima de 4,2 A, por lo que nos da un resultado preciso del rango en la cual se puede trabajar con estas curvas para poder saber los parámetros del panel solar y aprovechar su máxima potencia.

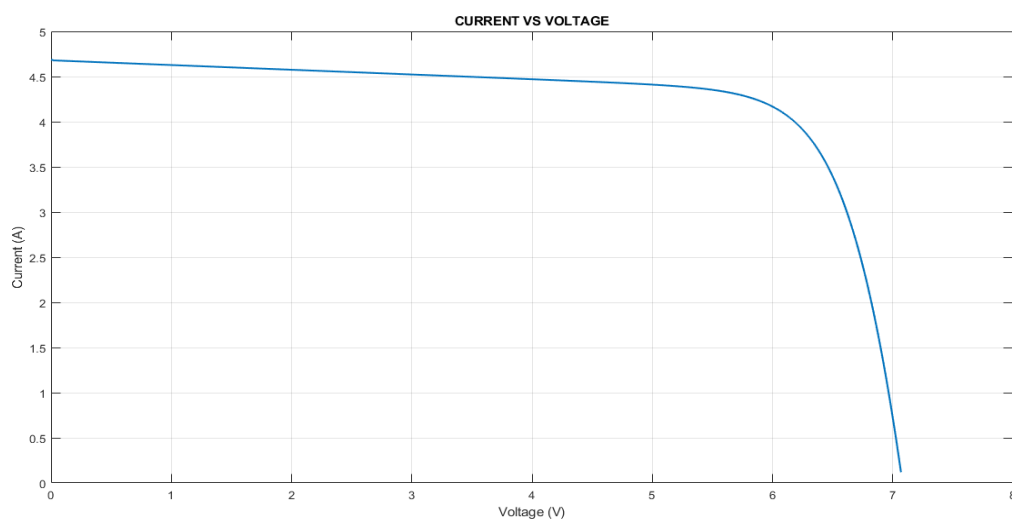


Fig. 49 Curva corriente vs voltaje

Fuente: Los Autores

4.5 Diseño del monumento

4.5.1 Perspectiva del diseño modelado en 3D (AutoCAD).

El proyecto turístico se desarrolló con el diseño arquitectónico del monumento, el cual parte de los criterios de intervención y mejoramiento del espacio público a través de la construcción de un monumento turístico, mismo que está compuesto por un conjunto de cuatro vasijas que representan los utensilios utilizados en la cocina desde la época prehistórica. Se ha planteado este tipo de monumento para potenciar el turismo e incentivar el cuidado del patrimonio e historia cultural del sector.

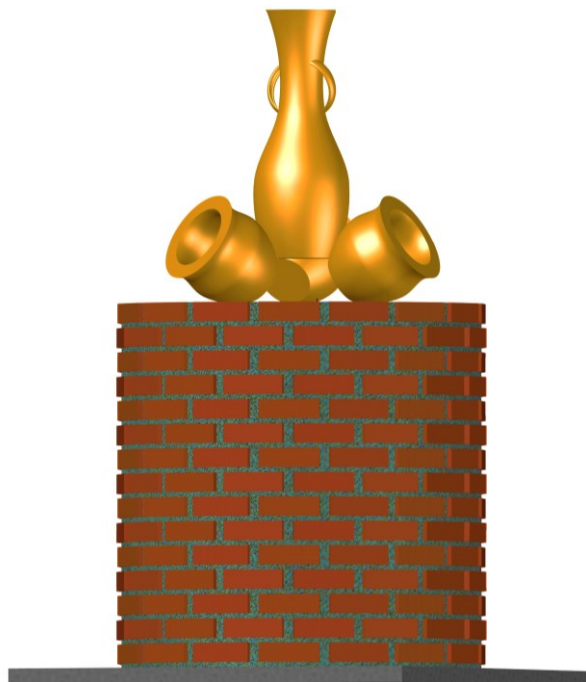


Fig. 50 Diseño arquitectónico

Fuente: Los autores

Como primera fase se contempló la construcción de un monumento que permita representar la parte cultural del sector, por esa razón, la escultura tiene una altura total de 2,70 metros, siendo 1,50 metros la altura de la base y 1,20 metros la altura de la vasija. La escultura cuenta con una vasija principal ubicada en el centro, la cual está rodeada por tres ollas ubicadas de forma simétrica con una orientación de 120 grados entre ellas.

4.5.1.1 Características constructivas.

4.5.1.1.1 Diseño de las vasijas.

Para realizar el diseño de las vasijas se utilizaron materiales seleccionados de acuerdo a las condiciones climatológicas del lugar para que así pueda adaptarse y tenga una mejor

resistencia en la intemperie, por tal motivo, se decidió emplear hierro como estructura principal el cual fue cubierto con cemento para darle la forma deseada.

En el literal (a) de la figura 51 se presenta el diseño y las medidas de la vasija principal la cual tiene forma de un jarrón con las siguientes dimensiones, 102 centímetros de altura, 19 centímetros de diámetro en el cuello y 29 centímetros de diámetro en la base y en la parte superior del jarrón, mientras tanto en el literal (b) de la misma figura se presenta el diseño y las medidas de las vasijas complementarias mismas que tienen forma de ollas con las siguientes dimensiones, 35 centímetros de altura, 36 centímetros de diámetro en el centro, 20 centímetros de diámetro en la base y 39 centímetros de diámetro en la parte superior de la olla.

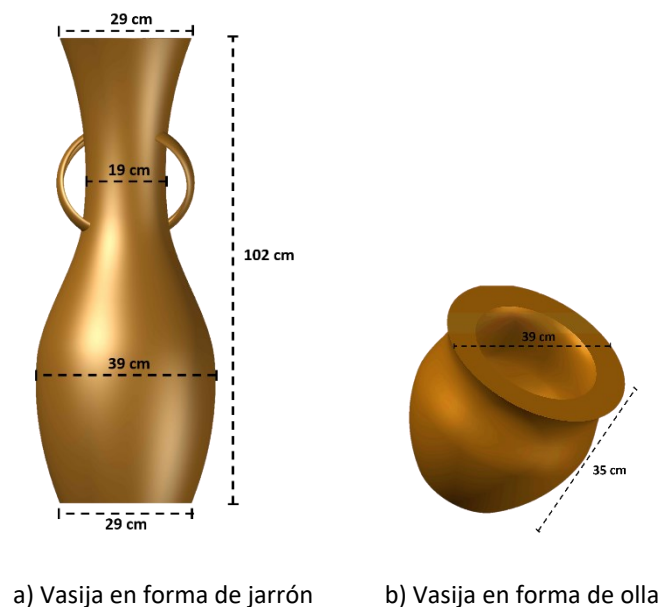


Fig. 51 Diseño y medidas de las vasijas

Fuente: Los autores

4.5.1.1.2 Diseño de la base.

El diseño presenta una forma circular de 150 centímetros de diámetro, misma que fue realizada con ladrillo para darle un mayor realce, en la parte superior será ubicado las luminarias, para esto se han realizado distintas simulaciones en Dialux obteniendo este modelo como mejor resultado, tanto en diseño como en iluminación. En la figura 52 podemos visualizar el diseño de la base con sus respectivas medidas.

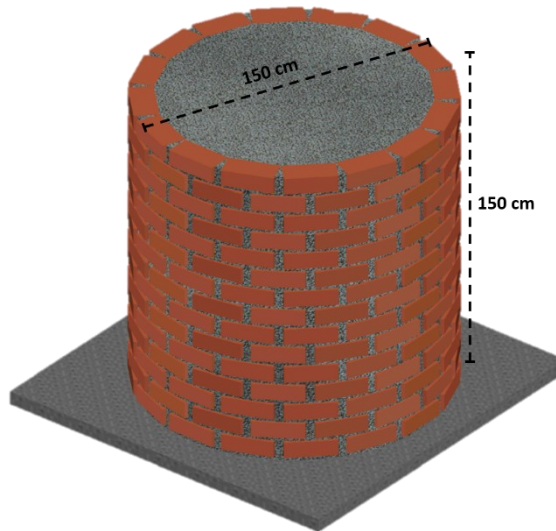


Fig. 52 Diseño y medidas de la base

Fuente: Los autores

4.5.2 Diseño, modelado y simulación en Dialux.

Para realizar el estudio lumínico del sistema de iluminación a seleccionar, se ha desarrollado el diseño en Dialux, mediante el cual se analizará los principales parámetros que intervienen para una óptima iluminación y posteriormente se determinará el tipo de proyector a implementar y sus respectivas características, además se determinará la correcta ubicación del reflector para garantizar una adecuada iluminación en todo el contorno del monumento.



Fig. 53 Perspectiva frontal del diseño

Fuente: Los autores

En la figura 53 se muestra una perspectiva en el día, donde se puede apreciar todo el diseño desde los paneles solares, luminarias, la base y el monumento, logrando así tener una

visión clara de lo que se va a construir, de la misma manera este software nos permite ver desde varias perspectivas con la zona iluminada, así como se observa en la siguiente figura.



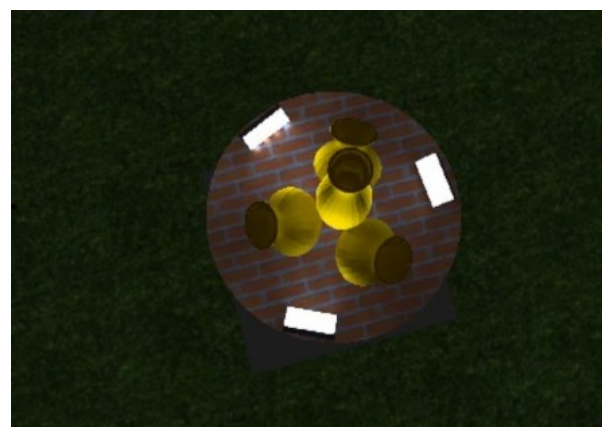
Fig. 54 Perspectiva frontal del diseño en Dialux

Fuente: Los autores

Para la simulación se ha optado por tres luminarias las cuales estarán encendidas al mismo tiempo, con una perspectiva frontal se observa que se logra cumplir el objetivo primordial el cual es instalar un óptimo sistema de iluminación que permite dar realce al monumento diseñado. De la misma manera se presenta en la figura 55, en el literal (a) una perspectiva panorámica y en el literal (b) una perspectiva superior donde se puede observar que el sistema seleccionado cumple con la eficiencia y alcance lumínico deseado.



a) Perspectiva panorámica



b) Perspectiva superior

Fig. 55 Perspectivas del diseño en Dialux

Fuente: Los autores

Luego de realizar el análisis lumínico, obtener la ubicación y el tipo de reflectores a utilizar procedemos a analizar la cantidad de luxes que se obtendrá con los tres reflectores

seleccionados iluminando todo el contorno del monumento. En la siguiente figura se presenta las zonas donde mayor incidencia tendrá la luz emitida por el sistema de iluminación, siendo de color amarillo donde mayor iluminación existirá y de color morado donde menos incide la luz proyectada por los reflectores, este análisis se lo realiza de acuerdo a la paleta de colores presentada en la parte inferior de la siguiente gráfica, la cual representa el número de luxes del área iluminada.

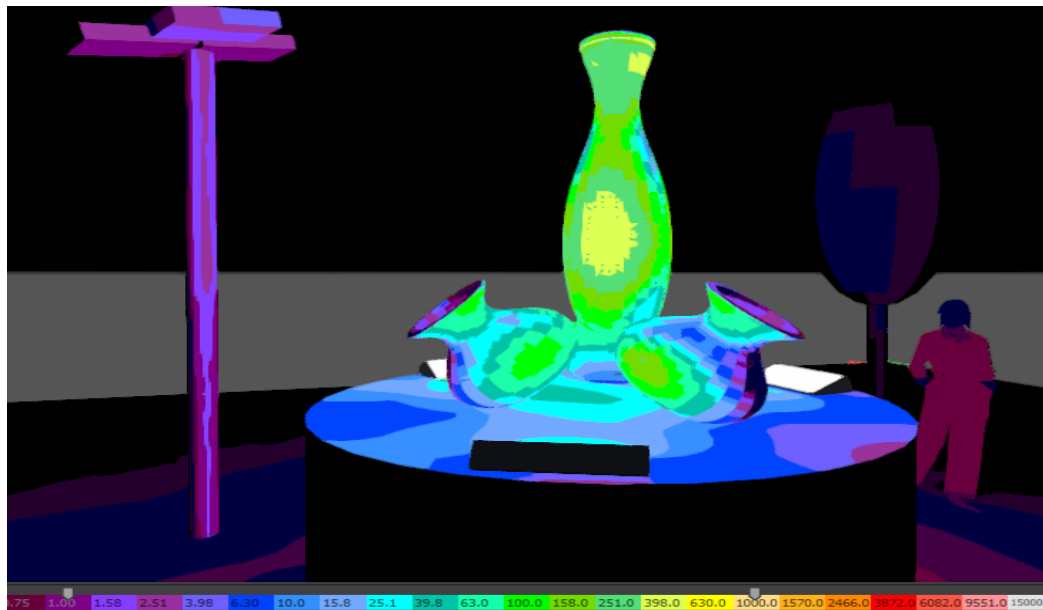


Fig. 56 Perspectiva frontal del diseño simulado

Fuente: Los autores

4.6. Modelado matemático de la batería

4.6.1 Caracterización de las baterías.

Para la caracterización de una batería y estudio de una mejor manera su funcionamiento es necesario conocer los siguientes conceptos.

- **Celda:** Es considerado el menor de los elementos que conforma una batería, la asociación de estas celdas puede darse de dos formas ya sea en serie o en paralelo, esto depende de los valores de voltaje y corriente requeridos.

4.6.1.1 Métodos de estimación del estado de carga de baterías eletroquímicas.

- **Estado de carga (SOC):** Muestra el porcentaje del estado de carga de la batería, siendo el 100% cuando la batería se encuentra a su máxima capacidad de almacenamiento.
- **Profundidad de descarga (DOD):** Permite conocer el estado de carga de una batería a través de la relación entre la capacidad de una batería durante el proceso de

descarga y la capacidad nominal de la misma, esta relación esta da dada en amperios-hora (Ah). Cuando se reduce el valor del SOC, el valor del DOD aumenta.

- **Tensión de vacío (E0):** Es la tensión en los terminales de la batería cuando no está conectada a una carga. Las características constitutivas de la batería determinar este valor.
- **Tensión en circuito cerrado (E):** Es la tensión que se presenta en los terminales de la batería se somete a una carga. Esta tensión en la batería disminuirá cuando esta sea conectada a una carga de acuerdo al nivel de corriente que demande.
- **Capacidad:** La capacidad de una batería es la cantidad de electricidad que se puede almacenar para luego descargar medida en amperios-hora (Ah).
- **Capacidad nominal:** Es la capacidad que puede entregar una batería desde plena carga hasta alcanzar una tensión en descarga determinada.
- **Capacidad real:** Capacidad que puede entregar una batería desde su estado de plena carga y en condiciones de funcionamiento diferentes a las establecidas para definir la capacidad nominal (exceptuando la tensión de finalización de descarga).
- **Capacidad retenida:** Es la capacidad que mantiene la batería al estar inactiva dentro de un tiempo establecido.
- **Máxima corriente de descarga continua:** Es la corriente máxima de descarga continua de la batería. Este valor está definido por las características constitutivas de la batería.
- **Máxima corriente en intervalos:** Es la corriente máxima de descarga en intervalos de tiempo que puede soportar la batería generalmente se da en intervalos de 10 ms. Este valor está definido por las características constitutivas de la batería. La corriente de intervalo máxima suele ser significativamente mayor que la corriente máxima continua. (Bertran, 2017)
- **Coulomb:** Un Coulomb es la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad y mide la cantidad de electricidad (carga eléctrica). Con frecuencia se utiliza múltiplos y submúltiplos de esta magnitud para medir con mayor precisión la corriente de carga y descarga de una batería.
- **Autodescarga:** Se tiene cuando una batería en circuito abierto pierde su capacidad y se encuentra generalmente expresada en valores porcentuales de pérdida de capacidad con respecto la capacidad nominal de la misma en un determinado período de tiempo. (Bertran, 2017)
- **Sobrecarga:** Este proceso se da cuando la batería se encuentra al 100% de su capacidad, pero sin embargo se mantienen cargando, este efecto es generado al perder la eficiencia de las reacciones químicas de la batería.

- **Densidad de Energía (Wh/l):** Es el total de energía por unidad de volumen que puede almacenar una batería.
- **Densidad de Potencia (W/l):** Es la potencia máxima por unidad de volumen que puede entregar una batería.
- **Energía Específica (Wh/kg):** Es el total de energía por unidad de peso que puede almacenar una batería.
- **Potencia Específica (W/kg):** Es la potencia máxima por unidad de peso que puede entregar una batería.
- **Vida útil:** Por lo general se define como el número de ciclos de carga y descarga que puede soportar una batería, manteniendo un funcionamiento dentro de los rangos de tolerancia establecidos por el fabricante.
- **Eficacia (%):** Es el porcentaje de energía eléctrica disponible en la batería con relación a la energía requerida para cargarla.
- **Tiempo de recarga normal (h):** Es el tiempo requerido para recargar la batería hasta el 100% de su capacidad.

4.6.2 Modelamiento de la batería.

En la figura 57, se muestra un diagrama en Simulink, mediante el cual se puede lograr representar el SOC, de la batería y la variación del Voltaje de la misma.

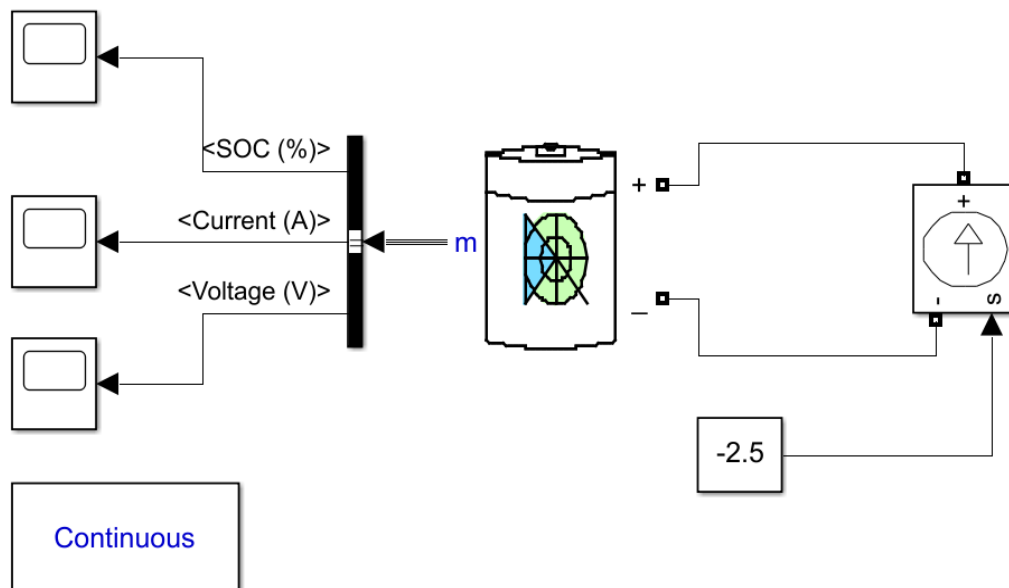


Fig. 57 Diagrama de bloques modelado de la batería

Fuente: Los autores

En la siguiente figura se presenta la curva del SOC de la batería en un lapso de 3600 s, donde pasa del 100% al 0% de la carga total.

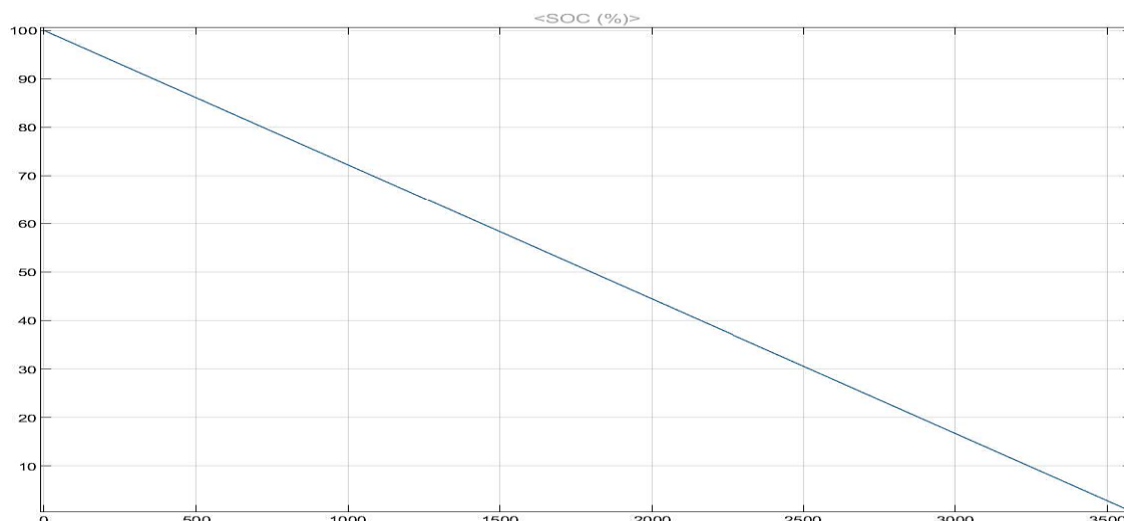


Fig. 58 Curva del SOC de la batería

Fuente: Los autores

4.7 Iluminación led

4.7.1 Características del led.

Con la gran competencia e innovación en los mercados de la iluminación LED existen diferentes productos, con distintos precios y distintas calidades, mismas que buscan satisfacer las necesidades y exigencias a nivel de cada usuario.

Una de las principales características es su eficacia ya existen luminarias LED que suelen alcanzar eficacias de alrededor de 70 lm / W.

Las lámparas LED tienen las siguientes características:

- Vida útil promedio: > 50 mil horas, bajo mantenimiento
- Temperatura de color: 2700-7000 k
- Índice de rendimiento de color: CRI= 70-90 %
- Eficacia promedio: 80-100 lm/w
- Depreciación de flujo luminoso 30 – 40% (hasta 50.000 horas y después el flujo se mantiene constante)
- Temperatura de operación: – 35° a + 40° C

4.7.2 Consumo

En términos de consumo este sería lo más relevante al hablar de iluminación LED, ya que el flujo luminoso conseguido por vatio consumido es superior a los sistemas actuales lo que implica un menor consumo de energía y por ende un ahorro significativo de dinero.

4.7.2 Durabilidad

Los LED`s al ser dispositivos en estado sólido, es decir su forma es rígida ya que la misma no cuenta con componentes frágiles (como la bombilla de las demás tecnologías) teniendo así una mayor durabilidad.

- Ventajas de las luminarias Led en la iluminación de monumentos

Cada vez son más los lugares que hacen uso de las luces Led para iluminar su patrimonio. La iluminación de monumentos con luminarias Led ofrece ciertas ventajas y resuelve algunos problemas, además de alcanzar mejores resultados con un menor consumo de recursos.

Entre estas ventajas podemos citar las siguientes:

- Es posible elegir entre luz fría o caliente sin cambiar de tamaño de luminarias.
- Se puede obtener la distribución del flujo luminoso que sea necesaria en cada momento.
- Permite gestionar las intensidades y el consumo.
- Evita la contaminación lumínica y exceso de iluminación del monumento.
- Favorece la eficiencia energética.
- Resulta muy fácil integrar las luminarias Led de forma estética en el entorno.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS CONSTRUCTIVO

5.1 Características de los equipos utilizados

5.1.1 Panel solar.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron 2 paneles solares con las siguientes características:

Datos técnicos:

Tipo de panel:	Policristalino Solar Module
Potencia máxima:	25 W
Voltaje pico máximo:	6 V
Corriente pico máximo:	4.17
Voltaje circuito abierto:	7.08 V
Corriente cortocircuito:	4.6 V
Variación de potencia nominal:	$\pm 3\%$



Fig. 59 Paneles solares utilizados

Fuente: Los autores

5.1.2 Baterías.

En el caso de las baterías se cuenta con 2 sistemas de baterías independientes, cada una alimenta a un reflector, las características de estas son:

Datos técnicos:

Tipo de batería:	LiFePo4 3,2 V
Tensión Nominal:	3,2 V
Capacidad Nominal:	20Ah
Ciclos de vida:	más de 2000 cargas
Corriente de carga:	20.0A (máximo 2C 40A)
Resistencia interna:	$\leq 5\text{m}\Omega$
Voltaje máximo de carga:	3,65 $\pm$ 0,05 V
Corriente de descarga continua:	100 A (5C)
Corriente máxima de descarga:	250A (12C)
Voltaje mínimo de descarga:	2,00 V
Peso:	512g (Carcasa de aluminio)
Dimensiones (mm):	27 (grosor) x 70 (ancho) x 134 (largo)



Fig. 60 Batería LiFePo4

Fuente: Los autores

5.1.3 Reflector.

Datos técnicos:

Tipo de reflector:	LED
Potencia:	200W
Temperatura color:	6500K
Voltaje:	3.2V

Protección:	IP 66
Tiempo de iluminación:	10 horas promedio
Certificación:	CCC, CE, CQC
Material del cuerpo:	Aleación de aluminio



Fig. 61 Reflector led 200 W

Fuente: Los autores

5.1.4 Conductor.

Datos técnicos:

Tipo de conductor:	Cobre flexible H03VV-F
Calibre:	2 x 0.5 mm ²
Temperatura:	100 °C
Voltaje:	300 V
Norma:	IEC 60227
Aislamiento:	PVC



Fig. 62 Conductor eléctrico

Fuente: Los autores

Para realizar el empalme entre los conductores se utilizó conectores impermeables para garantizar una correcta instalación evitando un posible cortocircuito al ser conductores que estarán ubicados en la intemperie.

5.2 Resultados constructivos del monumento

Una vez realizado el diseño del monumento se procedió a la construcción del mismo, a continuación, se detallará cada una de las partes del proceso constructivo.

5.2.1 Proceso constructivo.

5.2.1.1 Cimientos.

Para la construcción de los cimientos y la base se realizó una excavación de 50 cm de profundidad, con un área de 160 cm². Para la fundición de la placa de concreto se optó por utilizar cadenas de hierro y malla pre ensamblada, debido a que el terreno es de forma irregular, garantizando así una resistencia óptima que le permita soportar el peso de toda la estructura.



Fig. 63 Cimientos de la estructura

Fuente: Los autores

5.2.1.2 Paredes.

Luego de la fundición de la placa de concreto con malla pre ensamblada, se procedió con el armado de las paredes mismas que están conformadas con ladrillos ubicados técnicamente para dar una forma circular a la pared.

Fueron colocadas 14 filas de ladrillos de manera escalonada para obtener una mayor firmeza, resistencia y estabilidad en la pared, logrando obtener la siguiente estructura.



Fig. 64 Pared circular

Fuente: Los autores

5.2.1.3 Loza.

Se realizó una loza, con malla pre ensamblada para que esta tenga una mayor resistencia, en la misma se colocaron los ductos para el cableado interno.



Fig. 65 Estructura superior

Fuente: Los autores

5.2.1.4 Montaje de Vasijas.

Las Vasijas fueron construidas con una estructura de hierro cubierta por una mezcla de cemento y arena, posteriormente se colocó una capa de pintura impermeabilizante, todo esto considerando que va a pasar en la intemperie y debe tener una alta resistencia ante las afecciones climatológicas que pudieran deteriorar las vasijas.



Fig. 66 Armado de las vasijas

Fuente: Los autores

El montaje de las vasijas se realizó en el centro de la estructura obteniendo el siguiente resultado.



Fig. 67 Ubicación de las vasijas

Fuente: Los autores

5.2.2 Montaje del Sistemas Fotovoltaico y luminarias.

5.2.2.1 Montaje de paneles solares.

La instalación es de tipo modular optimizando el espacio físico, y para obtener un máximo aprovechamiento se tomaron las siguientes consideraciones técnicas.

- Área despejada: Los alrededores no deben interferir en la incidencia solar.
- Espacio disponible: el lugar donde se implementa el sistema debe ser lo suficientemente amplio para instalar los dispositivos sin ninguna dificultad.
- Distancia entre cada dispositivo: Los dispositivos deben ser instalados lo más cerca posible para evitar pérdidas en el sistema.
- Altura: Los paneles solares deben ser colocados a una altura que supere todos los obstáculos existentes para obtener una máxima radiación solar.
- Soporte de módulos: permiten que los paneles solares se mantengan fijos con la orientación y ángulo de inclinación correcto.



Fig. 68 Soporte para paneles solares

Fuente: Los autores

Posteriormente se realizó una excavación de un metro de profundidad para colocar un tubo de aluminio de 5 metros de largo y 2 pulgadas de diámetro, con una perfecta verticalidad, con la altura seleccionada se consiguió sobrepasar los arbustos existentes en el lugar obteniendo un mayor aprovechamiento de la radiación solar.

En la siguiente imagen se presenta la ubicación final de la base, soporte y paneles solares, en la cual se puede observar un terminado estético, puesto que todo el cableado se encuentra ubicado dentro del tubo principal.



Fig. 69 Ubicación de paneles solares

Fuente: Los autores

5.2.2.2 Instalación de luminarias.

Las luminarias fueron sujetadas a la loza a través de pernos de presión, y el cableado se lo realizó con un conductor calibre 2 x 0.5 mm² mismo que está colocado por tuberías internas, logrando así conservar el aspecto visual del monumento.

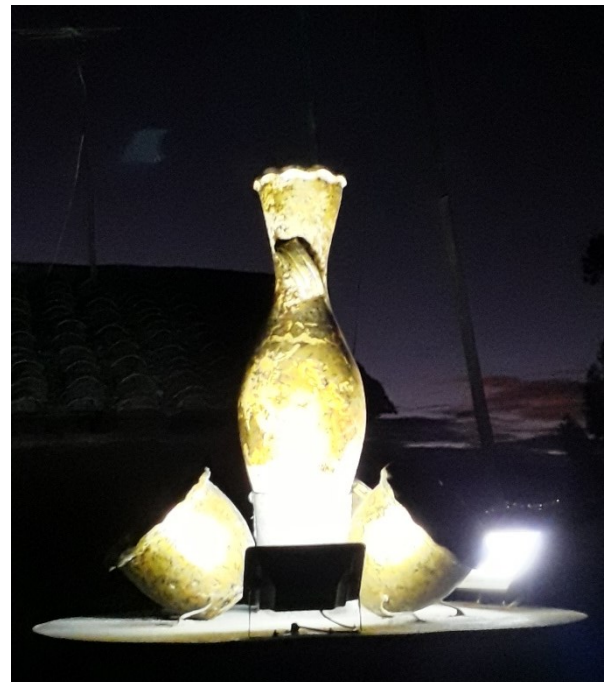


Fig. 70 Ubicación de luminarias

Fuente: Los autores

5.4 Comparaciones entre las simulaciones efectuadas en dialux y las mediciones en campo

A continuación, se realiza una comparación de los valores obtenidos tanto en Dialux como en las mediciones realizadas en campo con el luxómetro.

5.4.1 Valores simulados y medidos en la parte superior del monumento.

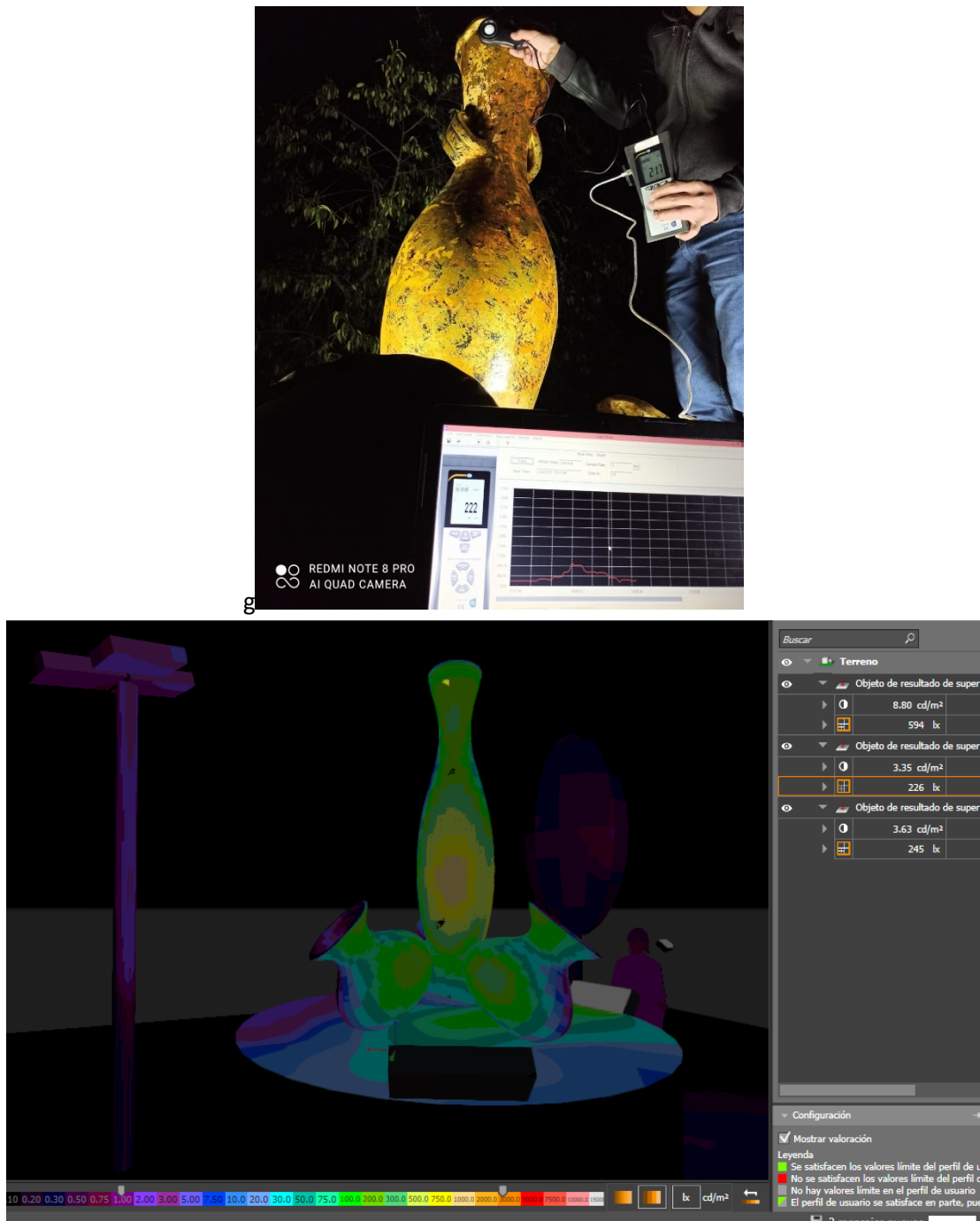


Fig. 71 Valores simulados y medidos en la parte superior del monumento

Fuente: Los autores

Con la simulación realizada en el software Dialux se obtuvo un valor de 226 luxes, mientras tanto con la medición en campo se obtuvo un valor de 222 luxes, al tener valores con una mínima variación se determina que el diseño y la posterior implementación del sistema fue correcto. En la figura 71 se observa los valores obtenidos para los dos casos.

5.4.2 Valores simulados y medidos en la parte intermedia del monumento.

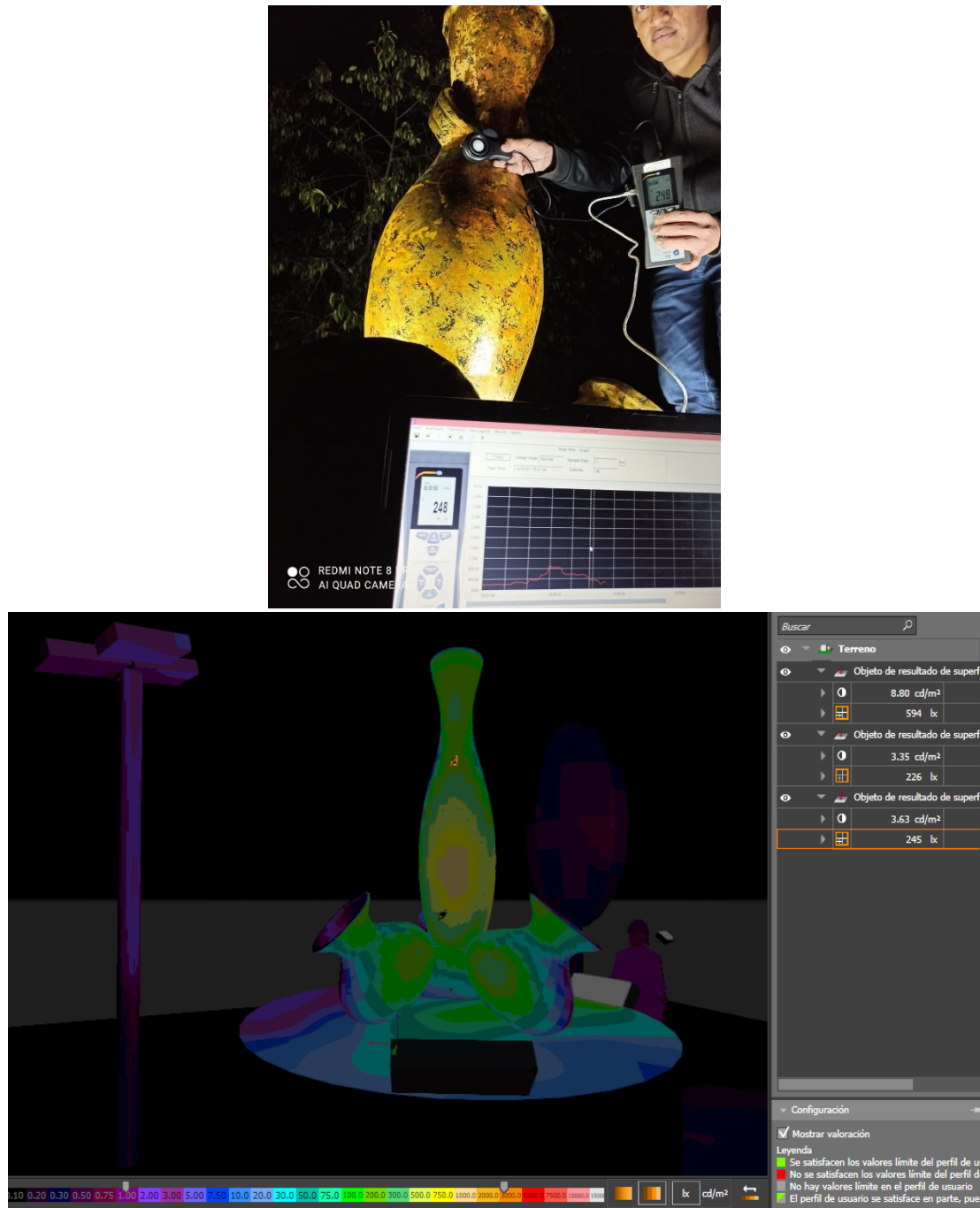


Fig. 72 Valores simulados y medidos en la parte intermedia del monumento

Fuente: Los autores

Con la simulación realizada en el software Dialux se obtuvo un valor de 248 luxes, mientras tanto con la medición en campo se obtuvo un valor de 245 luxes, al tener valores con una

mínima variación se determina que el diseño y la posterior implementación del sistema fue correcto. En la figura 72 se observa los valores obtenidos para los dos casos.

5.4.3 Valores simulados y medidos en la parte inferior del monumento.

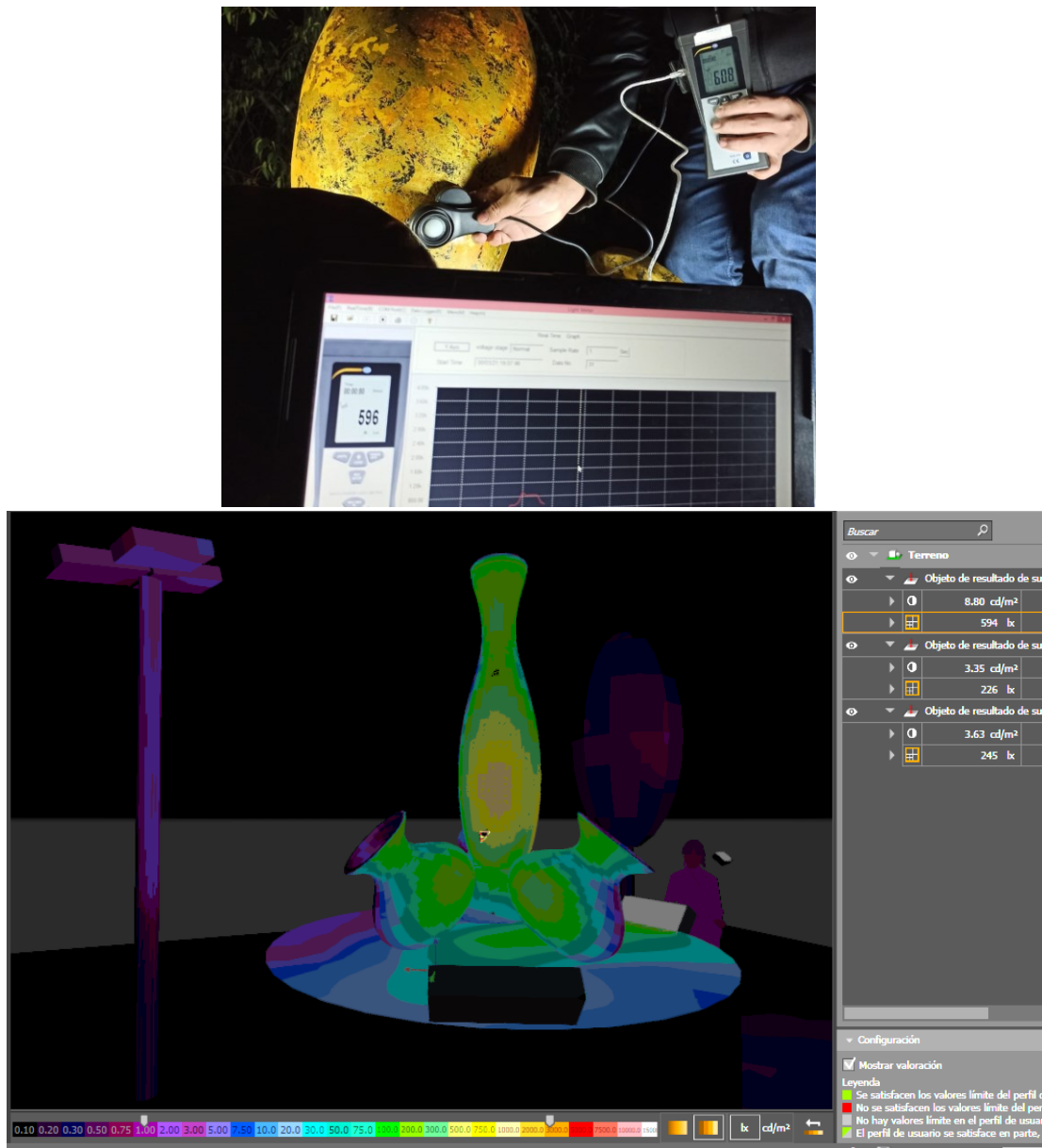


Fig. 73 Valores simulados y medidos en la parte inferior del monumento

Fuente: Los autores

Al realizar el diseño con el software Dialux se obtuvo un valor de 594 luxes, mientras tanto para realizar la medición en campo se utilizó un luxómetro con el cual se obtuvo un valor de 596 luxes, al tener valores con una mínima variación se determina que el diseño y la posterior implementación del sistema fue correcto. En la figura 73 se observa los valores obtenidos para los dos casos.

5.4.4 Curva obtenida con el luxómetro.

Con la utilización del software Light meter se logró enlazar el luxómetro con el computador para obtener en tiempo real la curva de medición del nivel de luxes existente en distintos puntos del monumento.

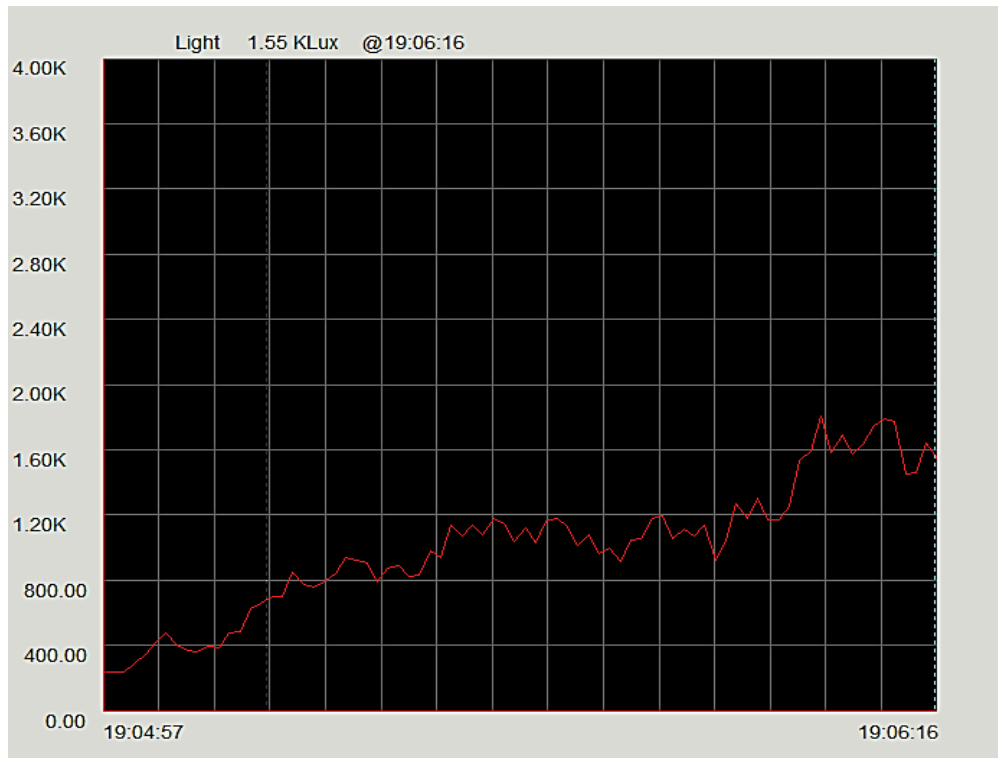


Fig. 74 Curva de niveles de iluminación

Fuente: Los autores

Esta curva muestra la medición desde el punto más alto del monumento hasta el punto más cercano a la luminaria creando una curva ascendente debido a que mientras más nos acercamos a la luminaria se presentará mayor iluminación.

5.4.5 Análisis de resultados.

Los datos obtenidos en la simulación con relación a los datos obtenidos en la parte experimental se muestran en la tabla 9, mediante la cual podemos determinar el correcto funcionamiento del sistema de iluminación instalado con relación al sistema propuesto en la simulación realizada en Dialux, debido a que para los dos casos analizados los valores son similares con una mínima variación de ± 4 lx.

Tabla 9 Resultados simulados y experimentales del sistema de iluminación

Puntos de medición	Resultados en Dialux (lx)	Resultados experimentales (lx)
--------------------	---------------------------	--------------------------------

Parte superior del monumento	226	222
Parte intermedia del monumento	248	245
Parte inferior del monumento	594	596

Fuente: Los autores

5.5 Resultados a nivel de voltaje, corriente y tiempos de operación del sistema

5.5.1 Voltaje generado por el panel solar.



Fig. 75 Medición voltaje generado por el sistema fotovoltaico

Fuente: Los autores

Para obtener los valores de voltaje generado por el panel solar se procedió a realizar mediciones en campo mediante la utilización de un multímetro, estas mediciones fueron realizadas en distintas horas y días, obteniendo resultados similares mismos que se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 10 Niveles de voltaje generados

Hora	Voltaje Generado (V)
6:00 am	6.02
7:00 am	6.3
8:00 am	6.4
9:00 am	6.45

10:00 am	6.50
11:00 am	6.8
12:00 pm	7.02
13:00 pm	6.95
14:00 pm	6.90
15:00 pm	6.80
16:00 pm	6.56
17:00 pm	6.50

Fuente: Los autores

Con los datos obtenidos en la tabla 10 se procedió a realizar la curva de voltaje generado, en la cual se puede observar que existe un mayor nivel de voltaje al medio día, sin embargo, la variación entre los niveles de voltaje obtenidos es mínimo presentando una variación máxima de ± 1 V.

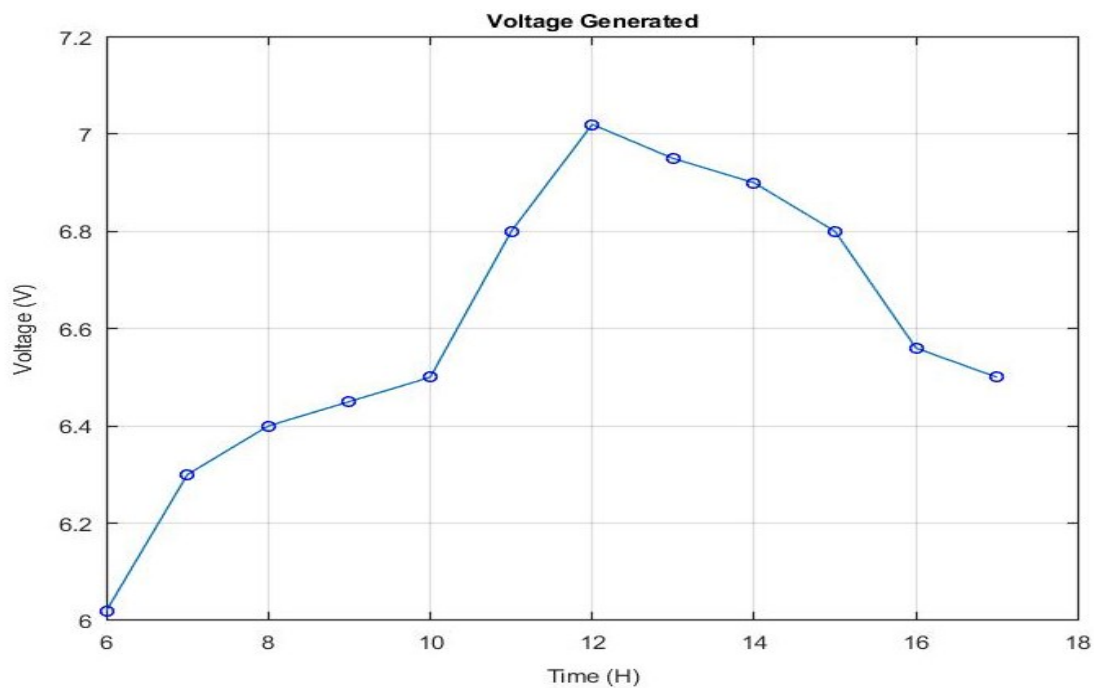


Fig. 76 Curva del voltaje generado

Fuente: Los autores

5.5.2 Corriente generada por el panel solar.



Fig. 77 Medición corriente generada por el sistema fotovoltaico

Fuente: Los autores

Para obtener los valores de corriente generada por el panel solar se procedió a realizar mediciones en campo mediante la utilización de un multímetro, estas mediciones fueron realizadas en distintas horas y días, obteniendo resultados similares mismos que se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 11 Niveles de corriente generada

Hora	Corriente Generada (A)
6:00 am	3.5
7:00 am	3.6
8:00 am	3.85
9:00 am	3.9
10:00 am	3.95
11:00 am	3.99
12:00 pm	4.05
13:00 pm	4.02
14:00 pm	3.98
15:00 pm	3.95
16:00 pm	3.9
17:00 pm	3.82

Fuente: Los autores

Con los datos obtenidos en la tabla 11 se procedió a realizar la curva de corriente generada, en la cual se puede observar que existe un mayor nivel de corriente al medio día.

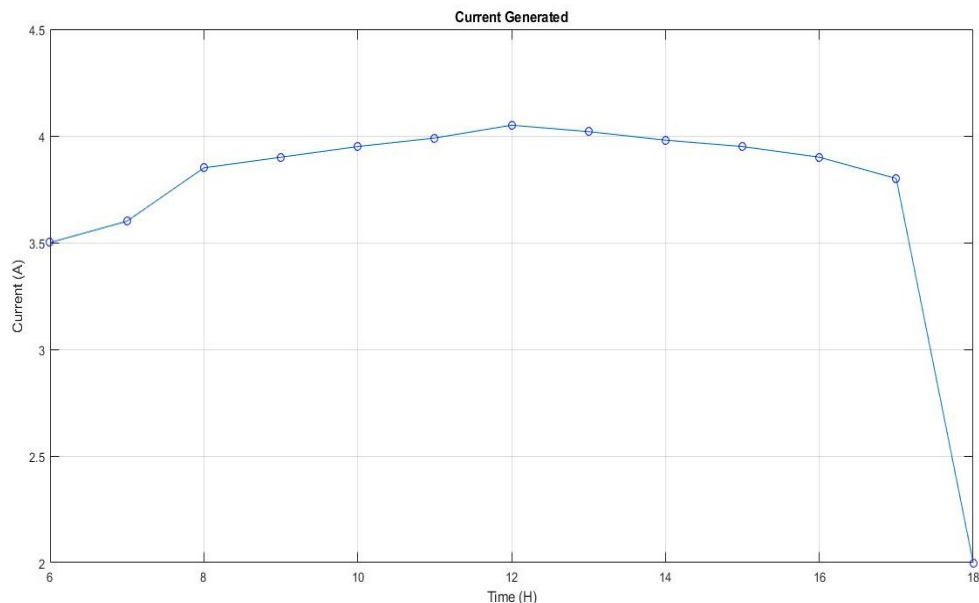


Fig. 78 Curva de corriente generada

Fuente: Los autores

5.5.3 Tiempo de duración de la batería.

En este caso contamos con un indicador porcentual de batería, mismo que se encuentra en la parte frontal del reflector, donde tenemos los valores de 25%, 50%, 75% y 100%.

Este al tener una carga aproximada del 25% tiene una duración de 2 Horas en su máxima capacidad, de la misma manera del 50% al 75% la duración de la batería con su máximo consumo va de 5 a 7 horas, con niveles del 100%, se garantiza una iluminación de más de 12 horas.

Para este proyecto este sistema se encuentra funcionando a su máxima capacidad logrando mantener una iluminación durante toda la noche, cabe recalcar que el sistema es autónomo cuando no existe presencia de luz este se activa y al contar con luz este empieza a cargar el sistema de baterías.

5.6 Aspecto ecológico y visual

Al ser la energía solar fotovoltaica una fuente de una energía limpia y renovable, esta contribuye de cierta manera a reducir las pérdidas de ecosistemas debido a la explotación de combustibles fósiles. La energía solar al ser inagotable y de libre acceso, aporta al autoabastecimiento energético en sectores rurales con sistemas aislados de la red de distribución eléctrica, evitando el plantado de postes, tendido de conductores, deforestación, etc.

El proceso de montaje e instalación de los paneles solares a pequeña escala no generan contaminación auditiva ni visual, ya que al tener un estudio previo con un diseño técnico se garantiza un mínimo impacto ambiental, con una ubicación adecuada del monumento y del poste donde estarán ubicados los paneles solares. Esto a su vez de cierta manera se mimetiza y armoniza con la vegetación existente en el sector.

En este proyecto la energía fotovoltaica está siendo usada para iluminar un monumento el mismo que es considerado un atractivo turístico, mismo que es visible desde distintos puntos del sector.

5.7. Análisis económico

5.7.1 Inversión total del sistema

En la siguiente tabla se indica el costo total del sistema donde se observa que la inversión inicial representa un egreso económico significativo para el sector, por lo tanto, realizamos el análisis de costo-beneficio del proyecto para determinar la viabilidad del sistema.

Tabla 12 Costo total de los componentes

Costo Total del Sistema			
N ^a	Detalle	Costo por unidad	Subtotal
3 (u)	Panel solar 25W	\$ 30.00	\$ 90,00
3 (u)	Batería 3,2V	\$ 25,00	\$ 75,00
3 (u)	Reflector IP 66	\$ 55,00	\$ 165,00
14 (m)	Conductor eléctrico N° 14	\$ 0,50	\$ 7,00
Total			\$ 337,00

Fuente: Los autores

5.7.2 Valores de consumo eléctrico de la red de Distribución

El costo de la energía en el sector de estudio es de \$0.092 por kWh, en este caso se obtuvo una potencia de consumo de 0,63 KWh, sin embargo, al querer implementar un sistema conectado a la red con reflectores de igual iluminancia su consumo es de 1,80 KWh. Funcionando todo el sistema durante todos los días del mes se obtiene el siguiente resultado.

Tabla 13 Costo mensual de consumo eléctrico

Costo Mensual de Consumo Eléctrico			
Días	kWh	USD kWh por hora	Total
30	1,80	\$ 0,092	\$ 4,968

Fuente: Los autores

5.7.3 Análisis costo beneficio

Como se observa en la tabla13, el valor mensual a cancelar a la empresa distribuidora es de \$4,968; Por lo tanto, realizamos el respectivo análisis de costo beneficio considerando que la carga especificada estará conectada el 100% durante los 12 meses del año, además para el estudio se considera que el sistema fotovoltaico tiene una vida útil de 10 años. De acuerdo a estas consideraciones se ha obtenido los siguientes resultados.

Tabla 14 Cálculo de utilidad generada

Tiempo de retorno de capital y utilidad generada				
% Carga conectada		100 %		
Fuente	Años	Meses por año	Inversión por año	Subtotal
EERCS	6	12	\$ 59,616	\$ 357,69
EERCS	10	12	\$ 59,616	\$ 596,16
Costo de consumo energético en 10 años				\$ 596,16
Costo total del sistema				\$ 337,00
Utilidad				\$ 259,16

Fuente: Los autores

Con el estudio realizado podemos determinar que el tiempo de retorno del capital invertido se dará en 6 años, por lo tanto, se obtiene una utilidad de \$ 259,16 en los 4 años posteriores antes de cumplir su vida útil.

Cabe resaltar que el estudio realizado considera sectores donde no se cuenta con redes de distribución eléctrica por lo tanto al querer alimentar el sistema de iluminación con las redes eléctricas convencionales se tendría un costo inicial elevado debido a tener la obligatoriedad de construir toda la red eléctrica para una sola carga.

Por lo tanto, desde el punto de vista económico y energético, se tiende a observar que el recurso solar es conveniente en la generación de energía eléctrica para alimentar sistemas de iluminación en sectores remotos donde no se cuenta con ninguna fuente de energía.

CONCLUSIONES

Al observar los resultados obtenidos con la implementación del sistema fotovoltaico, se puede comprobar que el modelo desarrollado describe de forma esperada el comportamiento del sistema, dentro de los parámetros establecidos en el diseño. También permite aseverar que se lograron cumplir los objetivos propuestos en este proyecto, debido a que se ha demostrado las posibilidades y bondades con las que cuenta el sector con relación a niveles de radiación solar óptimos con una irradiancia normal directa de 450 Wh/m² y una irradiancia horizontal global promedio igual a 600 Wh/m², siendo entre las 10:00 a 15:30 horas donde existe mayor radiación solar.

Con el desarrollo tecnológico se puede obtener datos meteorológicos de aplicaciones como SolarGis y Copernicus, que ofrecen servicios de información de hasta 30 años, basados en datos de observación de la Tierra por satélite y en datos in situ, esto permite tener una muestra más confiable del comportamiento climatológico en el sector donde se realiza el estudio permitiendo obtener resultados con una baja probabilidad de error. De la misma manera al realizar el diseño y simulación del proyecto con distintos softwares especializados como son AutoCAD, Matlab y Homer, se facilita el modelado y análisis de variables mediante las cuales se determina el funcionamiento y las respuestas del sistema simulado. De esta manera se determina la factibilidad del proyecto antes de implementar el sistema, caso contrario de manera oportuna se podrá realizar ajustes al sistema para optimizar su desempeño.

Con la implementación del sistema se puede observar que los reflectores se apagan al amanecer y los paneles solares empiezan a generar energía eléctrica (6 V) apenas reciben radiación solar y generan 3.18 A de corriente máxima al medio día, durante todo el día esta energía es almacenada en las baterías para ser aprovechada al anochecer cuando automáticamente se activan los reflectores a las 18:12 horas promedio, estas actividades se mantienen constantes durante todos los días lo cual indica que todo el proceso se encuentra dentro del rango de operación planificado. Las baterías alcanzan una carga igual a 18 Ah siendo el 90% de su capacidad total, y su descarga llega hasta 4.5 Ah siendo el 25% de su carga total.

Para la simulación del sistema de iluminación se utilizó el software especializado Dialux, mediante el cual se pudo obtener los niveles de iluminación en luxes para cada punto del monumento, para el análisis se consideró tres de estos puntos mismos que están ubicados en la parte inferior, media y superior del monumento con 594 luxes, 248 luxes y 226 luxes respectivamente, estos resultados concuerdan plenamente con los valores obtenidos in situ con la utilización de un luxómetro, con el cual se obtuvo valores similares a los simulados con una variación de ± 4 luxes.

Al ser un sistema de generación estático que depende directamente de la radiación solar, está sujeto a las variaciones climatológicas, es por ello que existen mayores pérdidas en el sistema al no aprovecharse el recurso solar durante todos los días del año, por lo tanto, se concluye que para futuras investigaciones se adjunte el sistema de seguimiento solar para tener una generación constante durante todas las horas del día, además con el acelerado desarrollo tecnológico para nuevos análisis en el sector se debe incorporar el estudio de sistemas híbridos por ejemplo el fotovoltaico-eólico, mediante el cual se podrá generar mayor cantidad de energía eléctrica, puesto que, con estos sistemas híbridos se ampliará el rango de generación a las 24 horas del día, rompiendo la barrera de generación de máximo 12 horas impuesta por el sistema fotovoltaico.

RECOMENDACIONES

Para determinar la ubicación de los paneles solares se debe considerar las edificaciones, arbustos y demás objetos que puedan reducir los niveles de irradiación solar, para así garantizar un máximo aprovechamiento del recurso solar.

Dimensionar de manera correcta el sistema, mismo que pueda garantizar una óptima iluminación durante todo el periodo de tiempo para el cual ha sido realizado el diseño, sin sobredimensionar el sistema, puesto que esto generaría un innecesario y elevado costo económico.

Para minimizar fallas por uso y al tener componentes expuestos a la intemperie se debe realizar mantenimiento preventivo de forma semestral con una inspección visual en todo el sistema y una limpieza bimensual si es necesario principalmente en los paneles solares, para poder garantizar una total captación de la energía solar, un correcto funcionamiento y durabilidad.

Para efectuar un análisis más ajustado al comportamiento real del sistema a implementar, es necesario obtener registros meteorológicos precisos, es por ello que se debe obtener datos de estaciones meteorológicas y de software especializados como SolarGis, Copernicus, Nasa Power, INAMHI Monitor, etc; que dispongan de datos en tiempo real, de la misma manera se debe realizar el diseño y simulación del sistema con la utilización de software como Matlab, Simulink, Homer que permitan obtener resultados con un mínimo porcentaje de error, para así, determinar qué sistema es el más eficiente y eficaz de acuerdo a las variables disponibles en el sector, con la finalidad de implementar el sistema con el menor costo posible sin reducir la eficiencia del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFIA

- A. Shukla, M. K. (2015). Modeling and Simulation of Solar PV Module on MATLAB/Simulink. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, 18516-18527.
- Acciona. (15 de Diciembre de 2020). *Acciona Business as Unusual*. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>
- Aguilar, J. (2018). *Electrónica Aplicada a Sistemas Fotovoltaicos*. España: Jaen.
- AutoSolar. (26 de 02 de 2021). *AutoSolar*. Obtenido de <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-y-en-paralelo-de-paneles-solares>
- Bertran, J. M. (Abril de 2017). Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas. Barcelona, Barcelona, España.
- Beta. (20 de Diciembre de 2020). *Beta Analytic*. Obtenido de <https://www.betalabservices.com/espanol/biocombustibles/sobre-los-biocombustibles.html>
- Centrosur. (20 de Enero de 2021). Normativa para la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios . Cuenca.
- Copernicus. (20 de Octubre de 2020). *Copernicus Servicio de Vigilancia a la atmosfera*. Obtenido de <https://www.copernicus.eu/es/servicios/vigilancia-atmosferica>
- Correa Álvarez, P. F. (2016). RENEWABLE ENERGIES AND ENVIRONMENT. ITS LEGAL REGULATION IN ECUADOR. *Universidad y Sociedad*, 7-9.
- Diaz, T. (2010). *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ENERGÍA LÍDER EN EL*. España: McGrawn- Hill.
- Diaz-González Francisco, S. A.-B. (2016). *Energy Storage in Power Systems*. . Chichester: Wiley.
- Endesa. (17 de Diembre de 2020). *Fundacion Endesa*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>
- Energía, F. (22 de Diciembre de 2020). *Factor Energía Eficiencia Energetica*. Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- Energia, R. (12 de 02 de 2021). *Renova Energia*. Obtenido de <https://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica-conexion-de-red/#>
- FRIEDRICH, F. J. (1988). *El Libro de las Energias Renovables*. Madrid: ERA SOLAR.
- G. Venkateswarlu y P. S. Raju. (2013). Simscape Model of Photovoltaic Cell. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 1766-1772.
- Giorgi, A. A. (10 de Enero de 2021). Connecting Africa. *Energía solar, la consolidación de la fuente alternativa*, pág. 2.

- IBERDROLA. (30 de Diciembre de 2020). *Iberdrola*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-hidroelectrica>
- Icaza, D. O. (2018). Modeling and Simulation of a Hybrid System Solar Panel and Wind Turbine in the Quingeo Heritage Center in Ecuador. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Power Engineering*, 2-6.
- Ingemecanica. (20 de ENERO de 2020). *INGEMECANICA*. Obtenido de Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- Inguil, A. (2014). *Analisis, Modelado y validacion de un sistema Sistema Fotovoltaico Para el Alumbrado Vial de la Avenida de las Americas*. Cuenca: UPS.
- Juárez, A. S. (2017). *Aplicaciones fotovoltaicas de la Energia Solar*. Coyoacan - Mexico: Shutterstock.
- Laura Martín Murillo, J. R. (2018). *CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE*. La Rabida: Pixabay.
- Leon, P. P. (3 de Enero de 2021). *Iluminacion Solar - Autonoma*. Obtenido de <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/Iluminacion%20autonoma%20solar>
- Manufacturing, L. (02 de Enero de 2021). *leanmanufacturing*. Obtenido de <https://leanmanufacturing10.com/energia-solar-termica-funciona-ventajas-desventajas>
- Martin, L. (26 de Diciembre de 2020). *Compromiso Empresarial*. Obtenido de <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2014/04/geotermia-energia-desde-el-corazon-de-la-tierra/>
- Méndez, J. C. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica (2 ed.)*. Madrid: S.A.U.
- Nema, P. B. (2013). Maximum power point tracking control techniques State-of-the-Art in photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy*, 224-241.
- ORG, C. e. (12 de Diciembre de 2020). *Cuidemos el Planeta ORG - Energias Renovables*. Obtenido de <https://cuidemoselplaneta.org/energias-renovables/>
- Osorio, C. (25 de Enero de 2021). *MathWorks*. Obtenido de Modeling and Simulation of PV Solar Power Inverters: https://la.mathworks.com/videos/modeling-and-simulation-of-pv-solar-power-inverters-81813.html?s_tid=srchtitle
- PRO, H. (22 de 02 de 2020). *Homer Energy*. Obtenido de <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>
- Rao, C. -. (2001). Gestión de baterías con eficiencia energética. *EEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1235-1245.
- Rivas, P. (20 de Febrero de 2020). *Instalaciones y Eficiencia Energética*. Obtenido de <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com>
- S. Ramyaka, S. R. (2015). SIMULINK Model of PV array with MPPT using Cuk converter. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 1692-1698.

S. Singh, L. M. (2013). Design and Simulation of Intelligent Control MPPT Technique for PV Module Using MATLAB/SIMSCAPE. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4554-4566.

Santiago Flores Gómez, C. (2013-2022). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Quito: Advantlogic Ecuador S.A.

Solar, A. (2017). *Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas*. Chile: Ayllu.

Solargis. (11 de 02 de 2021). *Solargis*. Obtenido de <https://solargis.com/es>: <https://solargis.com/es>

Stern, D. P. (30 de Enero de 2021). *Nasa Official*. Obtenido de <https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mlatlong.htm>

ANEXOS

ANEXO 1. Datos de radiación solar en Quingeo, obtenidos con la aplicación copernicus

Extraterrestrial Irradiance (E0) and Radiation received by a horizontal surface at the Top of the Atmosphere (ToA) during one day

# Provider	MINES ParisTech / Armines (France)
	http://www.soda-pro.com
# More information at	
# Site latitude (positive means North)	-3.040
# Site longitude (positive means East)	-78.937
# Date beginning	01/12/2020
# Date end	22/02/2021
# Solar Constant	is taken here as 1367 W/m ²
# Extraterrestrial Irradiance E0 (W/m ²)	Irradiance (E0) falling on an area perpendicular to the solar rays outside the atmosphere Mean irradiance for that day at the top of atmosphere
# Irradiance (W/m ²)	(ToA) on horizontal plane Daily irradiation at the top of atmosphere (ToA) on
# Irradiation (kJ/m ²)	horizontal plane Daily irradiation at the top of atmosphere (ToA) on
# Irradiation (Wh/m ²)	horizontal plane

Extraterrestrial Irradiance (E0) and Top of Atmosphere (ToA) radiation integrated over one day

Year	Month	Day	Irradiance (W/m ²)	Irradiation (Wh/m ²)
2020	12	01/12/2020	428,41	10281,95
2020	12	02/12/2020	428,2	10276,88
2020	12	03/12/2020	428	10272,05
2020	12	04/12/2020	427,81	10267,48
2020	12	05/12/2020	427,63	10263,18
2020	12	06/12/2020	427,47	10259,17
2020	12	07/12/2020	427,31	10255,44
2020	12	08/12/2020	427,17	10252,02
2020	12	09/12/2020	427,04	10248,91
2020	12	10/12/2020	426,92	10246,12
2020	12	11/12/2020	426,82	10243,66
2020	12	12/12/2020	426,73	10241,54
2020	12	13/12/2020	426,66	10239,76
2020	12	14/12/2020	426,6	10238,33
2020	12	15/12/2020	426,55	10237,26
2020	12	16/12/2020	426,52	10236,55
2020	12	17/12/2020	426,51	10236,21
2020	12	18/12/2020	426,51	10236,23
2020	12	19/12/2020	426,53	10236,63
2020	12	20/12/2020	426,56	10237,39
2020	12	21/12/2020	426,61	10238,53
2020	12	22/12/2020	426,67	10240,04
2020	12	23/12/2020	426,75	10241,93
2020	12	24/12/2020	426,84	10244,18

2020	12	25/12/2020	426,95	10246,81
2020	12	26/12/2020	427,07	10249,8
2020	12	27/12/2020	427,21	10253,15
2020	12	28/12/2020	427,37	10256,86
2020	12	29/12/2020	427,54	10260,92
2020	12	30/12/2020	427,72	10265,33
2020	12	31/12/2020	427,92	10270,08
2021	1	01/01/2021	428,13	10275,05
2021	1	02/01/2021	428,36	10280,52
2021	1	03/01/2021	428,6	10286,31
2021	1	04/01/2021	428,85	10292,41
2021	1	05/01/2021	429,12	10298,79
2021	1	06/01/2021	429,39	10305,46
2021	1	07/01/2021	429,68	10312,41
2021	1	08/01/2021	429,98	10319,61
2021	1	09/01/2021	430,29	10327,05
2021	1	10/01/2021	430,61	10334,73
2021	1	11/01/2021	430,94	10342,63
2021	1	12/01/2021	431,28	10350,73
2021	1	13/01/2021	431,63	10359,02
2021	1	14/01/2021	431,98	10367,49
2021	1	15/01/2021	432,34	10376,11
2021	1	16/01/2021	432,7	10384,88
2021	1	17/01/2021	433,07	10393,77
2021	1	18/01/2021	433,45	10402,77
2021	1	19/01/2021	433,83	10411,86
2021	1	20/01/2021	434,21	10421,02
2021	1	21/01/2021	434,59	10430,24
2021	1	22/01/2021	434,98	10439,5
2021	1	23/01/2021	435,37	10448,77
2021	1	24/01/2021	435,75	10458,05
2021	1	25/01/2021	436,14	10467,32
2021	1	26/01/2021	436,52	10476,54
2021	1	27/01/2021	436,9	10485,72
2021	1	28/01/2021	437,28	10494,82
2021	1	29/01/2021	437,66	10503,83
2021	1	30/01/2021	438,03	10512,74
2021	1	31/01/2021	438,4	10521,51
2021	2	01/02/2021	438,76	10530,14
2021	2	02/02/2021	439,11	10538,61
2021	2	03/02/2021	439,45	10546,9
2021	2	04/02/2021	439,79	10554,99
2021	2	05/02/2021	440,12	10562,86
2021	2	06/02/2021	440,44	10570,5
2021	2	07/02/2021	440,75	10577,89
2021	2	08/02/2021	441,04	10585,01
2021	2	09/02/2021	441,33	10591,84
2021	2	10/02/2021	441,6	10598,38
2021	2	11/02/2021	441,86	10604,61
2021	2	12/02/2021	442,1	10610,5
2021	2	13/02/2021	442,34	10616,05
2021	2	14/02/2021	442,55	10621,24
2021	2	15/02/2021	442,75	10626,06
2021	2	16/02/2021	442,94	10630,49

2021	2	17/02/2021	443,1	10634,52
2021	2	18/02/2021	443,26	10638,14
2021	2	19/02/2021	443,39	10641,33
2021	2	20/02/2021	443,5	10644,09
2021	2	21/02/2021	443,6	10646,41
2021	2	22/02/2021	443,68	10648,27

ANEXO 2. Código Matlab curvas corriente voltaje y potencia voltaje

```

%%% Modelado de Panel Solar %%%
%%% Curvas I-V y P-V %%%


---


%% Datos iniciales
k = 1.381e-23;           % Constante de Boltzmann, J/K
q=1.602e-19;           % Carga eléctrica, C
N= 1.2;                 % Factor de calidad de diodo
Vg=1.12;                % Voltaje de banda prohibida, V
Ns=18;                  % Numero de celdas en serie
TaC= 25;                % TaC Temperatura ambiente °C
Voc=22.54;              % Voltaje de circuito abierto, V
Isc=1.2;                % Corriente de cortocircuito, A
Ir0=1000;               % Irradiancia, W/m^2
Tl=273+25;              % Transformar de °C a kelvin
Vt=k*Tl/q;


---


%% Cálculo de Iph
Voc_Tl=36.6/Ns;
TK=TaC+273;
K0=0.04;                % Coeficiente de temperatura de Isc
Ir=1000;                % Irradiancia, W/m^2
Iph_Tl=Isc*(Ir0/Ir);
Iph=Iph_Tl+K0*(TK-Tl);


---


%% Cálculo de la corriente de saturación Is
Is_Tl=Isc/(exp(Voc/N/Vt/Ns)-1);
Is=Is_Tl*(TK/Tl).^(3/N).*exp(-q*Vg/(N*k).*((1./TK)-(1./Tl)));


---


%% Cálculo resistencia en serie Rs
Xv = Is_Tl*q/(N*k*Tl*Ns)*exp(q*Voc_Tl/(N*k*Tl));
dVdI_Voc = -0.705;
Rs=-dVdI_Voc - (1/Xv);


---


%% Cálculo de Rp
Vmp=17.82;              % Voltaje máximo, V
Imp=1.12;               % Corriente máxima, I
Rp=(Vmp+Rs*Imp)/(-Imp+Iph-Is*(exp(q*(Vmp+Rs*Imp)/N*k*Ns*Tl)-1));


---


%% Cálculo del voltaje
Vt_Ta=N*k*TK / q;
V=0:0.5:Voc;
Vc=V/Ns;


---


%% Cálculo de la corriente
I = zeros(size(Vc));
for j=1:5
    I = I - (Iph - I - Is.*(exp((V+I.*Rs)./(Vt_Ta*Ns))-1))./...
        (-1 - (Is.*(exp((V+I.*Rs)./(Vt_Ta*Ns))-1)).*Rs./...
        (Vt_Ta*Ns)-Rs/Rp);
end


---


%% Cálculo de la potencia
P=I.*V;


---


%% Gráfica curva Current-Voltage
a=1.1;
b=20.35;
figure(1)

```

```

Px = 0:0.01:b;
grid on, hold on
title('CURRENT vs VOLTAGE'),
xlabel('Voltage (V)'), ylabel('Current (A)'),
axis([0 8*pi 0 1.4])
plot(V,I,'-b',Px, a*ones(1, length(Px)), 'm--', [b,b], [0,a], 'm--'...
, 'lineWidth',2)
text(-2.2,a, 'Ipmáx'); text(-2,Isc, 'Isc');
text(b,-0.02, 'Vpmáx'); text(Voc,-0.02, 'Voc');


---


%% Gráfica curva Power VS Voltage
a=22.96;
b=19.66;
figure(2)
Px = 0:0.01:b;
grid on, hold on
title('POWER vs VOLTAGE'),
xlabel('Voltage (V)'), ylabel('Power (W)'),
axis([0 8*pi 0 25])
plot(V,P,'-r',Px, a*ones(1, length(Px)), 'c--', [b,b], [0,a], 'c--'...
, 'lineWidth',2)
text(-2,a, 'Pmáx');
text(b-1,-0.3, 'Vpmáx'); text(Voc,-0.3, 'Voc');

```

ANEXO 3. Código Matlab efecto de la temperatura

```

%%% Modelado de Panel Solar %%%
%%% Curvas I-V%%%


---


%% Modelo eléctrico solar basado en la ecuación del diodo
%% Datos iniciales
clear all
clc
Va=0:.01:22;
Suns=1; % Radiación solar, kW/m^2
TaC=25:10:55;
lva=length(Va);
lT=length(TaC);
Ipv=zeros(size(Va));
for s=1:lT
for i=1:lva
k=1.38e-23; % Constante de Boltzmann, J/K
q=1.6e-19; % Carga eléctrica, C
A=1.2;
Vg=1.12; % Voltaje de banda prohibida, V
Ns=36; % Numero de celdas en serie
Tl=273+25; % Transformar de °C a kelvin
Voc_Tl=21.06/Ns; % Voltaje de circuito abierto, V
Isc_Tl=3.80; % Corriente de cortocircuito, A
T2=273+75; % Transformar de °C a kelvin
Voc_T2=17.05/Ns;
Isc_T2=3.92;
TarK=273+TaC(s);
Tref=273+25;
Iph_Tl=Isc_Tl*Suns;
a=(Isc_T2-Isc_Tl)/(Isc_Tl*1/(T2-Tl));
Iph=Iph_Tl*(1+a*(TarK-Tl));
Vt_Tl=k*Tl/q;
Ir_Tl=Isc_Tl/(exp(Voc_Tl/(A*Vt_Tl))-1);
Ir_T2=Isc_T2/(exp(Voc_T2/(A*Vt_Tl))-1);
b=Vg*q/(A*k);

```

```

Ir=Ir_T1*(TarK/T1).^(3/A).*exp(-b.*(1./TarK-1/T1));
%% Cálculo resistencia en serie Rs
X2v=Ir_T1/(A*Vt_T1)*exp(Voc_T1/(A*Vt_T1));
dVdI_Voc=-1.15/Ns/2;
Rs=-dVdI_Voc-1/X2v;
%% Cálculo del voltaje
Vt_Ta=A*k*TarK/q;
Vc=Va(i)/Ns;
Ia=zeros(size(Vc));
for j=1:1:100
    Ia=Ia-(Iph-Ia-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt_Ta)-1))./(-1-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)...
        /Vt_Ta)-1).*Rs/Vt_Ta);
end
Ipv(s,i)=Ia;
Ppv(s,i)=Va(i)*Ia;
end
end

%% Gráfica curvas Corriente-Voltaje
axes1 = axes(figure);
xlim(axes1,[0 23]);
ylim(axes1,[0 5]);
grid(axes1,'on');
hold(axes1,'all');
title('CURRENT vs VOLTAGE, Charateristics at 1000 W/m2');
xlabel('Voltage (V)');
ylabel('Current (A)');
plot1 = plot(Va(1,:),Ipv(:,1),'LineWidth',1.5);
yticks([0 0.9 1.9 2.9 3.9])
yticklabels({'0','0.3','0.6','0.9','1.2'})
set(plot1(1),'DisplayName','T 25°C');
set(plot1(2),'DisplayName','T 35°C');
set(plot1(3),'DisplayName','T 45°C');
set(plot1(4),'DisplayName','T 55°C');
legend1 = legend('show');
set(legend1,'Position',[0.79 0.76 0.079 0.15]);

```

ANEXO 4. Código Matlab efecto de la radiación solar

```

%%% Modelado de Panel Solar %%%
%%% Curvas I-V%%%
%% Modelo eléctrico solar basado en la ecuación del diodo
%% Datos iniciales
clear all
clc
Va=0:0.01:25;
Suns=0.2:0.2:1; % Variación radiación solar, kW/m^2
TaC=30;
Ipv=zeros(size(Va));
Ppv=zeros(size(Va));
for s=1:length(Suns)
    for i=1:length(Va)
        k=1.381e-23; % Constante de Boltzmann, J/K
        q=1.602e-19; % Carga eléctrica, C
        A=1.2;
        Vg=1.12; % Voltaje de banda prohibida,V
        Ns=18; % Numero de celdas en serie
        Tl=273+25; % Transformar de °C a kelvin
        Voc_Tl=21.06/Ns; % Voltaje de circuito abierto, V
        Isc_Tl=1.12; % Corriente de cortocircuito, A
    end
end

```

```

T2=273+75; % Transformar de °C a kelvin
Voc_T2=17.05/Ns;
Isc_T2=1.2;
TarK=273+TaC;
Tref=273+25;
Iph_T1=Isc_T1*Suns(s);
a=(Isc_T2-Isc_T1)/Isc_T1*1/(T2-T1);
Iph=Iph_T1*(1+a*(TarK-T1));
Vt_T1=k*T1/q;
Ir_T1=Isc_T1/(exp(Voc_T1/(A*Vt_T1))-1);
Ir_T2=Isc_T2/(exp(Voc_T2/(A*Vt_T1))-1);
b=Vg*q/(A*k);
Ir=Ir_T1*(TarK/T1).^(3/A).*exp(-b.*(1./TarK-1/T1));

%% Cálculo resistencia en serie Rs
X2v=Ir_T1/(A*Vt_T1)*exp(Voc_T1/(A*Vt_T1));
dVdI_Voc=-1.15/Ns/2;
Rs=-dVdI_Voc-1/X2v;

%% Cálculo del voltaje
Vt-Ta=A*k*TarK/q;
Vc=Va(i)/Ns;
Ia=zeros(size(Vc));
for j=1:1:10
    Ia=Ia-(Iph-Ia-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt-Ta)-1))./(...
        (-1-Ir*(exp((Vc+Ia*Rs)/Vt-Ta)-1).*Rs/Vt-Ta);
end
Ipv(s,i)=Ia;
Ppv(s,i)=Va(i)*Ipv(s,i);
end

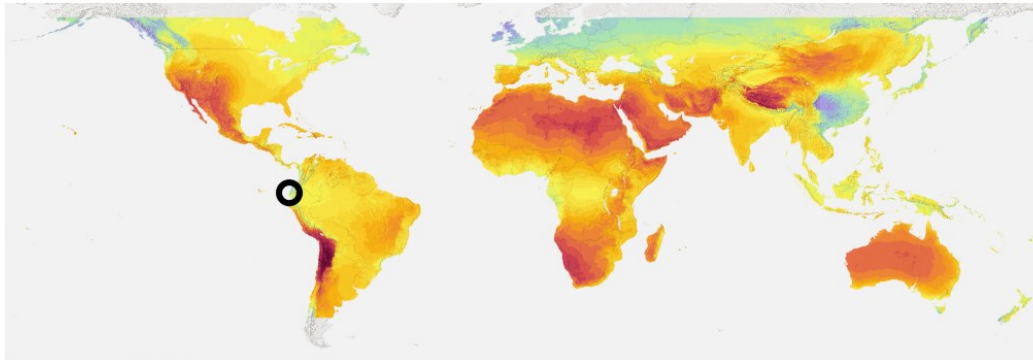
%% Gráfica curvas Corriente-Voltaje
axes1 = axes(figure);
xlim(axes1,[0 23]);
ylim(axes1,[0 1.5]);
grid(axes1,'on');
hold(axes1,'all');
title('CURRENT vs VOLTAGE, Charateristics at 25 °C');
xlabel('Voltage (V)');
ylabel('Current (A)');
plot1 = plot(Va(1,:),Ipv(:,:),'LineWidth',1.5);
set(plot1(1),'DisplayName',' 200 Ir');
set(plot1(2),'DisplayName',' 400 Ir');
set(plot1(3),'DisplayName',' 600 Ir');
set(plot1(4),'DisplayName',' 800 Ir');
set(plot1(5),'DisplayName','1000 Ir');
legend1 = legend(axes1,'show');
set(legend1,'Position',[0.8 0.76 0.079 0.15]);
text(8,1.2,'Ipmáx= 1.12 A Vpmáx= 18.18 V');
text(8,1,'Ipmáx= 0.89 A Vpmáx= 18.07 V');
text(8,0.75,'Ipmáx= 0.67 A Vpmáx= 18.33 V');
text(8,0.55,'Ipmáx= 0.44 A Vpmáx= 17.93 V');
text(8,0.3,'Ipmáx= 0.22 A Vpmáx= 17.82 V');

```

ANEXO 5. Datos de radiación solar y temperatura en Quingeo, obtenidos con la aplicación solargis

SOLARGIS

PROSPECT



Preliminary assessment of site solar irradiance

Project: Quingeo (Ecuador)

Geographical coordinates	-3.039726, -78.936768 (-03°02'23", -78°56'12")
Report number	P-sg2 22557-2021-02-11-1827
Report generated	2021-02-11
Generated by	Solargis
Customer	ucacue

Figure 2.1: Project location



Figure 2.2: Detailed map view

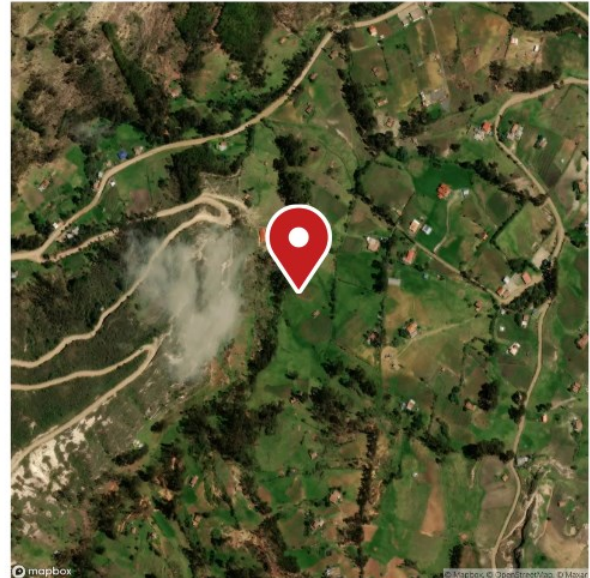


Figure 2.3: Project horizon and sunpath

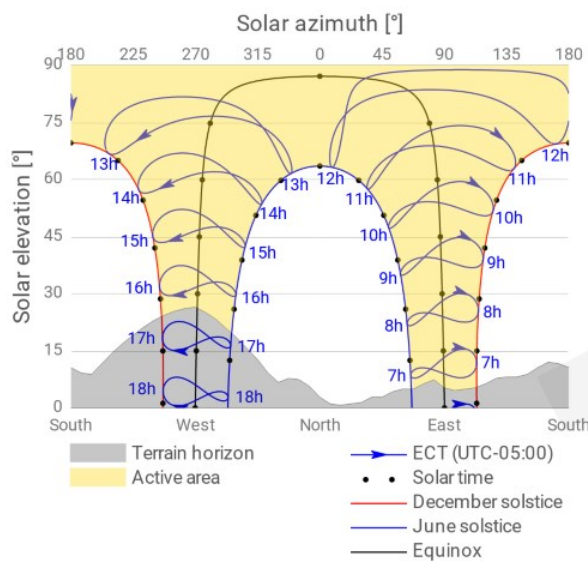
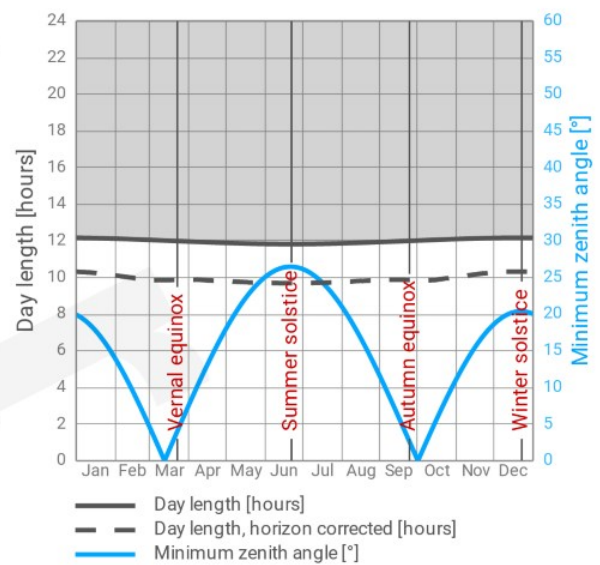


Figure 2.4: Day length and solar zenith angle



3 Solar and meteo: Monthly statistics

The most important project-specific meteorological parameter that determines solar electricity production is solar radiation, which fuels a PV power system. Power production is also influenced by air temperature. Other meteorological parameters also affect the performance, availability and ageing of a PV system.

Table 3.1: Solar radiation and meteorological parameters

Month	GHI kWh/m ²	DNI kWh/m ²	DIF kWh/m ²	D2G	GTI _{opta} kWh/m ²	TEMP °C	WS m/s	CDD degree days	HDD degree days
Jan	148	99	78	0.53	145	12.7	2.5	1	174
Feb	126	71	74	0.59	125	12.7	2.6	0	155
Mar	139	75	84	0.61	139	12.7	2.6	0	178
Apr	125	72	74	0.59	127	12.7	2.8	0	180
May	134	92	72	0.54	137	12.5	3.2	0	199
Jun	126	92	66	0.53	129	11.6	3.8	0	216
Jul	135	101	69	0.51	138	11.1	4.1	0	239
Aug	137	96	71	0.52	139	11.4	4.3	0	226
Sep	135	87	73	0.54	135	12.1	3.9	0	195
Oct	149	95	79	0.53	148	12.5	2.8	0	182
Nov	151	107	73	0.49	148	12.6	2.3	0	165
Dec	143	95	77	0.54	139	12.7	2.4	0	178
Yearly	1647	1081	891	0.54	1649	12.3	3.1	2	2287

Optimum tilt/azimuth for GTI_{opta} 4° / 0°

Table 3.2: Other meteorological parameters

Month	ALB	RH %	PWAT kg/m ²	PREC mm
Jan	0.15	84	18	56
Feb	0.15	85	19	72
Mar	0.16	86	20	102
Apr	0.15	86	19	97
May	0.15	84	17	57
Jun	0.15	82	15	47
Jul	0.16	80	13	34
Aug	0.16	77	13	28
Sep	0.16	75	14	40
Oct	0.15	80	17	70
Nov	0.15	83	18	68
Dec	0.15	83	18	59
Yearly	0.15	82	17	730

Figure 3.1: Global + diffuse horizontal irradiation

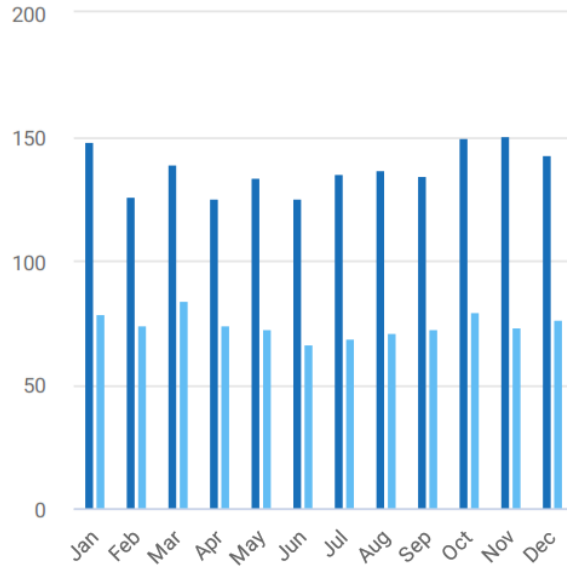


Figure 3.2: Direct normal irradiation

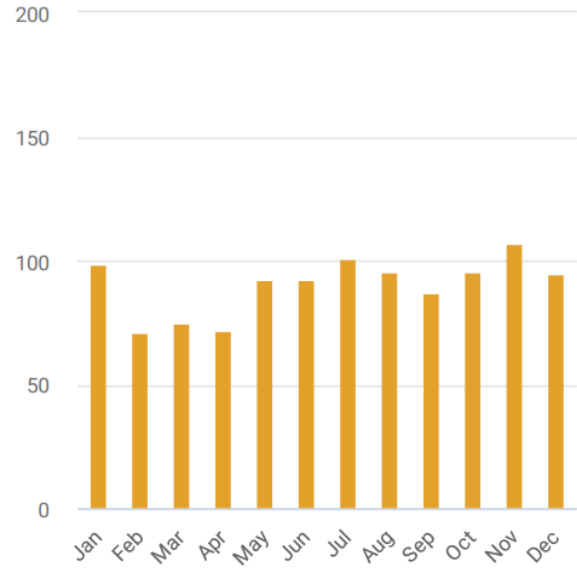


Figure 3.3: Ratio of diffuse to global irradiation

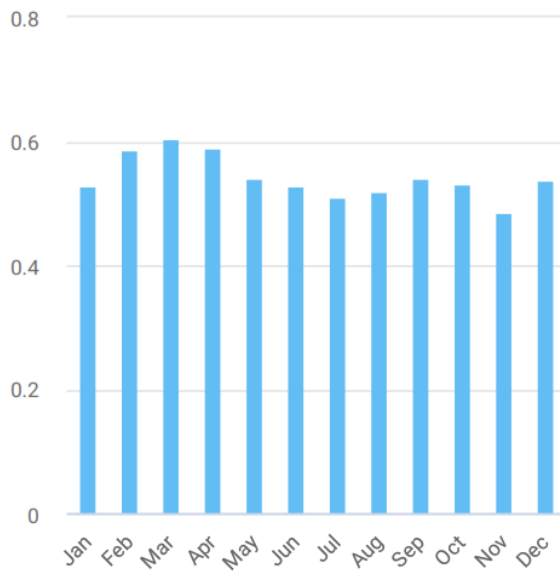


Figure 3.4: Global tilted irradiation at optimum angle

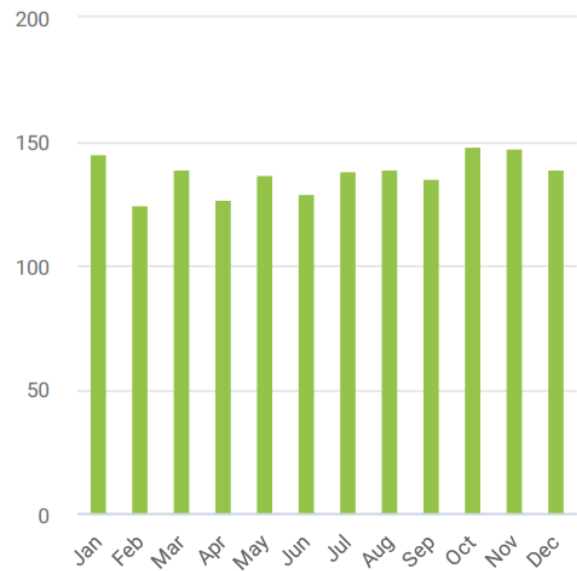


Figure 3.5: Air temperature

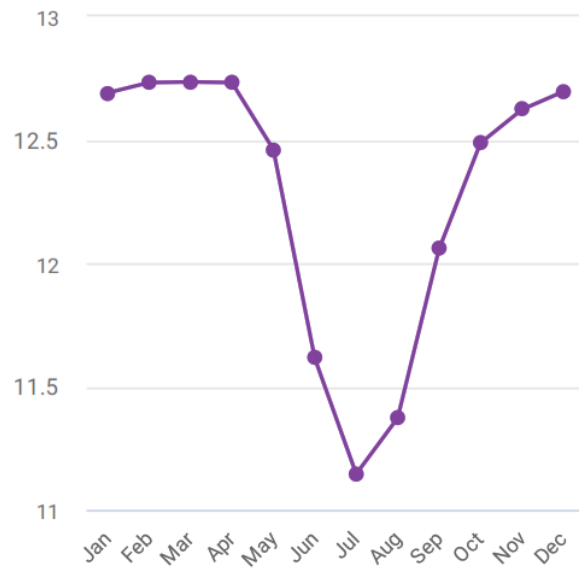


Figure 3.6: Surface albedo

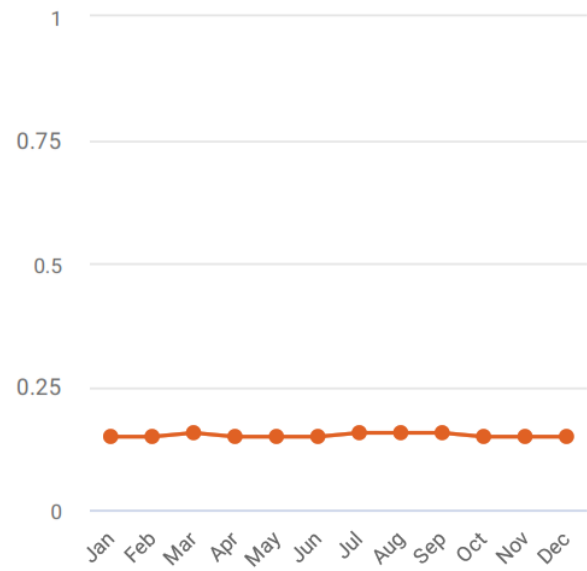


Figure 3.7: Wind speed

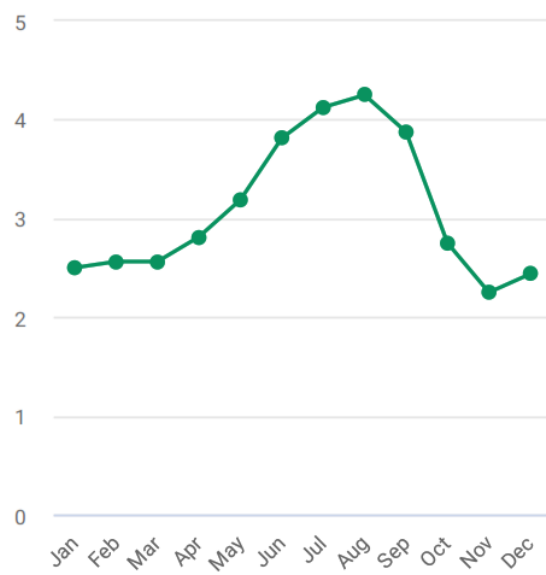


Figure 3.8: Relative humidity

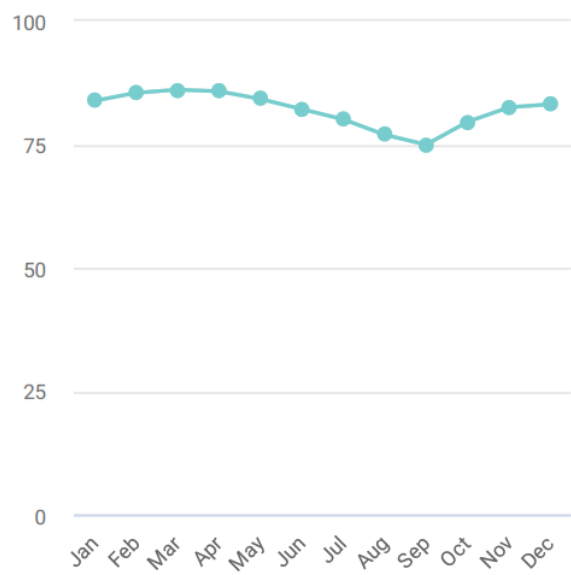


Figure 3.9: Precipitation (rainfall)

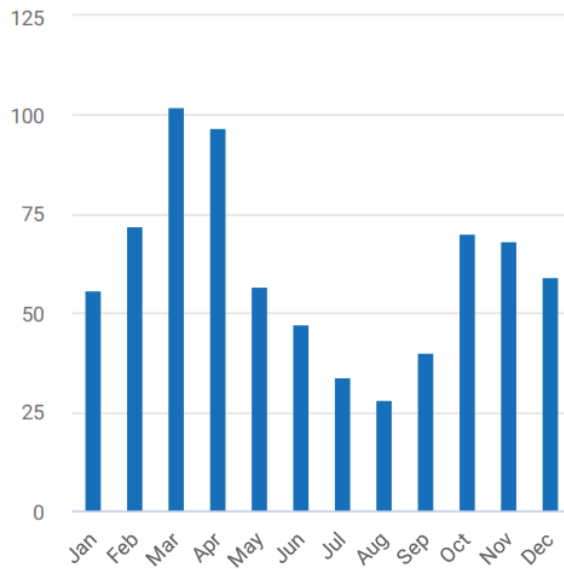


Figure 3.10: Precipitable water

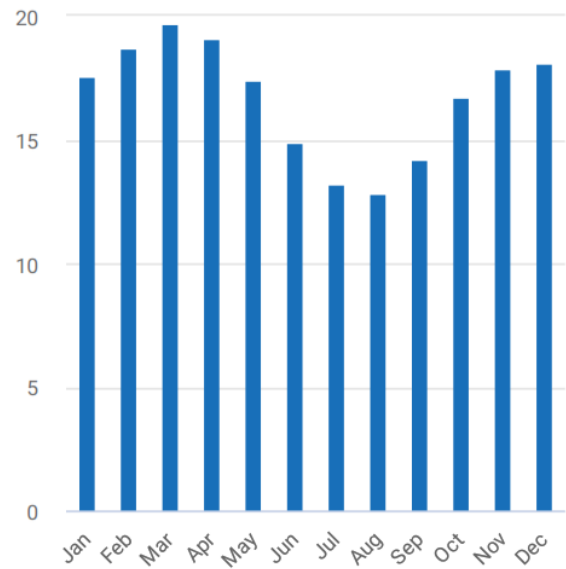


Figure 3.11: Snow days



Figure 3.12: Cooling degree days

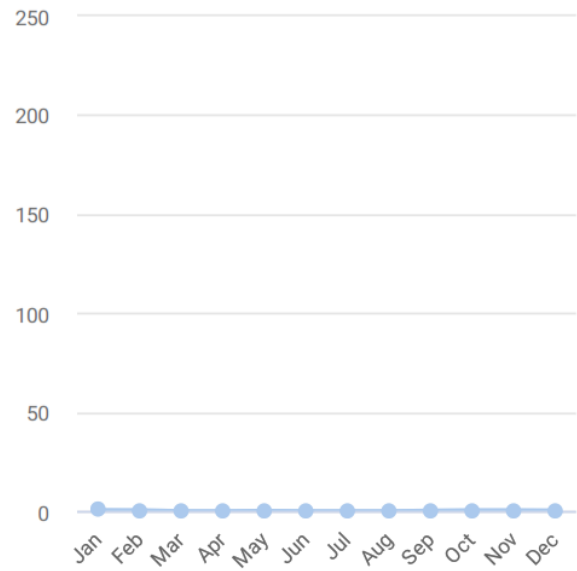
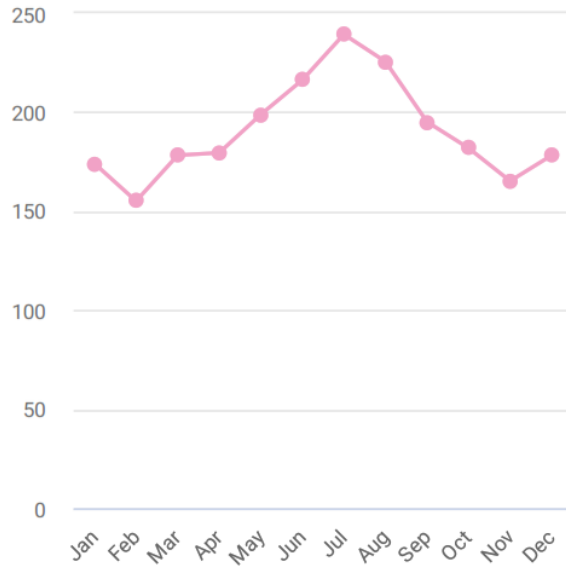


Figure 3.13: Heating degree days



4 Solar and meteo: Daily statistics

Solar radiation profiles below are calculated as an average of all hourly data for each month. The profiles give an indication of changing patterns of GHI per day, separately for each month. These patterns are driven by local geography, astronomy and climate of the site.

Figure 4.1: GHI, DNI, DIF - daily averages

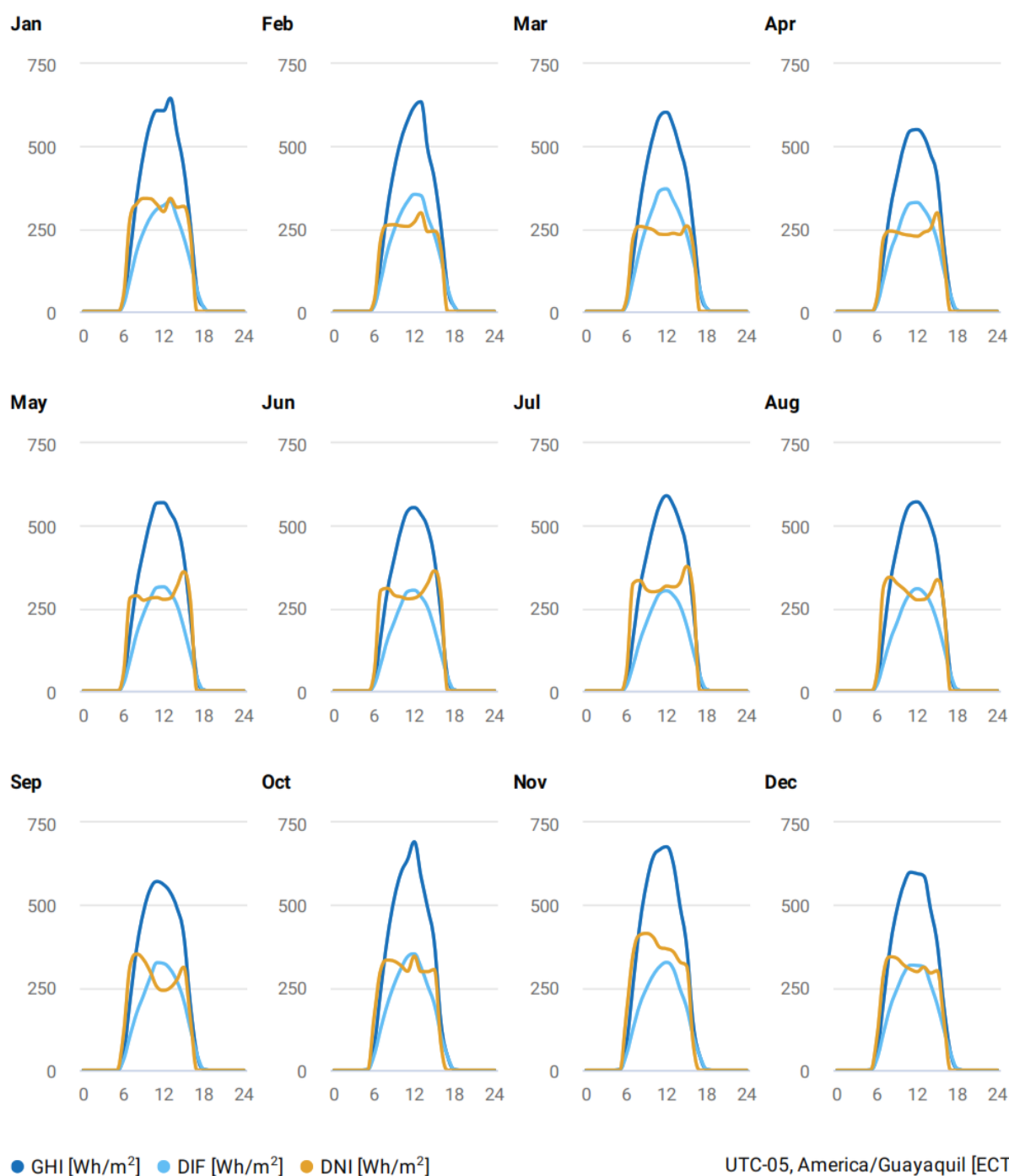


Table 4.1: Global horizontal irradiation - hourly averages [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2	2	1
6 - 7	28	20	22	28	30	25	21	26	48	75	78	52
7 - 8	182	154	162	169	179	165	161	176	214	245	260	215
8 - 9	349	314	321	311	324	305	308	330	374	403	440	379
9 - 10	477	431	441	411	425	401	408	435	480	520	564	489
10 - 11	569	518	531	500	513	487	497	522	548	597	645	563
11 - 12	609	578	592	547	569	544	564	565	571	638	668	599
12 - 13	608	620	603	551	570	555	591	572	562	692	677	595
13 - 14	646	635	563	530	540	534	563	549	538	587	627	588
14 - 15	541	493	492	476	499	493	508	503	491	492	499	488
15 - 16	436	402	414	405	406	401	429	424	410	386	377	384
16 - 17	266	256	254	201	225	230	250	250	199	143	138	192
17 - 18	65	70	66	50	39	41	45	51	47	41	41	52
18 - 19	13	15	10	4	3	3	4	4	3	2	2	4
19 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 - 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 - 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 - 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	4787	4505	4473	4182	4321	4184	4352	4409	4487	4821	5020	4600

Table 4.2: Direct normal irradiation - hourly averages [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 - 7	49	32	36	43	55	55	55	55	111	163	173	104
7 - 8	285	221	223	224	281	304	325	318	318	306	352	297
8 - 9	326	261	258	243	288	310	334	344	352	333	409	343
9 - 10	342	263	254	240	274	290	307	325	334	330	414	338
10 - 11	341	259	247	233	280	284	300	309	298	317	403	318
11 - 12	324	258	234	230	282	279	304	289	252	300	372	306
12 - 13	302	271	233	228	277	281	317	275	242	345	368	298
13 - 14	343	299	237	240	280	294	315	277	250	299	359	312
14 - 15	315	242	233	251	317	325	327	297	274	298	328	294
15 - 16	318	243	259	299	361	363	377	336	312	305	316	301
16 - 17	234	188	195	159	274	284	294	257	156	76	78	150
17 - 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18 - 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 - 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 - 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 - 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	3181	2537	2408	2390	2969	3070	3254	3082	2899	3072	3572	3062

5 Acronyms and glossary

Table 5.1: Acronyms and glossary

Acronym	Full name	Unit	Explanation
GHI	Global horizontal irradiation	kWh/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global horizontal irradiation
DNI	Direct normal irradiation	kWh/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of direct normal irradiation
DIF	Diffuse horizontal irradiation	kWh/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of diffuse horizontal irradiation
D2G	Ratio of diffuse to global irradiation		Ratio of diffuse horizontal irradiation and global horizontal irradiation (DIF/GHI)
GTI opta	Global tilted irradiation at optimum angle	kWh/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation for PV modules fix-mounted at optimum angle
OPTA	Optimum tilt of PV modules	°	Optimum tilt of fix-mounted PV modules facing towards Equator set for maximizing GTI input
GHI season	GHI seasonality		Ratio of maximum and minimum monthly averages of global horizontal irradiation (GHI_month_max/GHI_month_min)
DNI season	DNI seasonality		Ratio of maximum and minimum monthly averages of direct normal irradiation (DNI_month_max/DNI_month_min)
ALB	Surface albedo		Fraction of solar irradiance reflected by surface. Ratio of upwelling to downwelling (GHI) radiative fluxes at the surface
GTI theoretical	Global tilted irradiation (theoretical)	kWh/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation without consideration of terrain shading
TEMP	Air temperature	°C	Average yearly, monthly and daily air temperature at 2 m above ground
WS	Wind speed	m/s	Average yearly, monthly and daily wind speed at 10 m above ground
RH	Relative humidity	%	Average yearly or monthly relative humidity at 2 m above ground
PWAT	Precipitable water	kg/m ²	Precipitable water is the depth of water vapour in a column of the atmosphere, if all the water in that column were precipitated as rain. It indicates the amount of moisture above ground
PREC	Precipitation (rainfall)	mm	Average yearly and monthly sums of precipitation
SNOWD	Snow days	days	Snow days are calculated as days with snow water depth equivalent to or higher than 5 mm

ANEXO 6. Diseño realizado en dialux

tesis

23/1/2021

DIALux

Terreno 1 / CEAG 40071354991 Atlantic LED O HB CG-S 2xHighPower LED / CEAG - Atlantic LED O HB CG-S (2xHighPower LED)

CEAG 40071354991 Atlantic LED O HB CG-S 2xHighPower LED

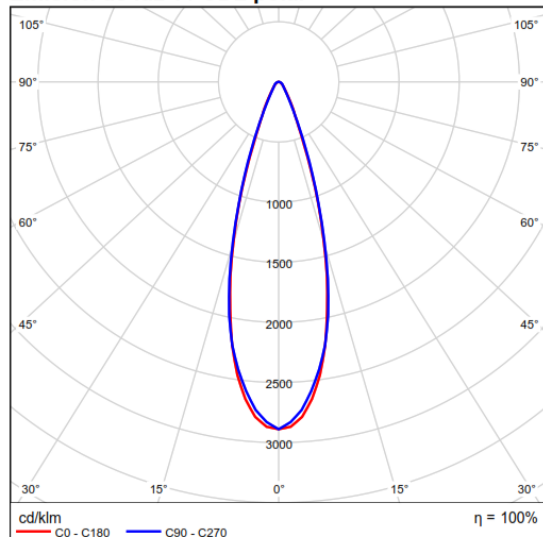


- LED-Sicherheitsleuchte mit hoher Schutzart (IP65) für Innen- und Außeneinsatz
- Leuchte mit begrenzter Oberflächentemperatur für feuergefährdete Betriebsstätten
- Geeignet für lebensmittelverarbeitende Betriebe gem. IFS
- Robuste Konstruktion aus Aludruckguss-Gehäuse und schlagfestem Diffusor aus Polycarbonat
- Zahlreiche Möglichkeiten für Leitungseinführung
- Durch tiefstrahlenden Optiken und besonders effiziente Highpower-LEDs geeignet für
geeignet für Lichtpunkthöhen bis 28 m
- Lichtpunktabstände bis zu 25 m von Leuchte zu Leuchte mit Optik für Fluchtwegeausleuchtung
- Bis zu 14 m von Leuchte zu Leuchte mit Optik für
Flächenausleuchtung
- Minimaler Wartungsaufwand durch hohe Lebensdauer der LEDs (50.000 Stunden)
- Verkürzter Inspektionsaufwand durch CEWA GUARD Technologie
- Automatische Funktionsüberwachung von bis zu 20 Leuchten pro Stromkreis
- Reduzierte Installationskosten durch STAR-Technologie
- Frei programmierbarer Mischbetrieb der Schaltungsarten pro Leucht in einem Stromkreis

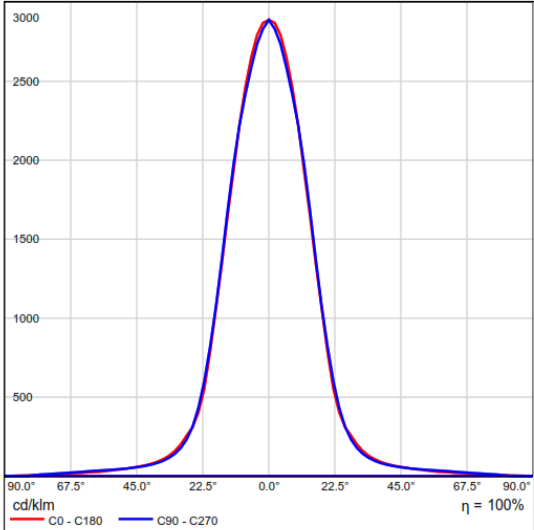
Grado de eficacia de funcionamiento: 100%
Flujo luminoso de lámparas: 340 lm
Flujo luminoso de las luminarias: 340 lm
Potencia: 202.0 W
Rendimiento lumínico: 1.7 lm/W

Indicaciones colorimétricas
2xHighPower LED: CCT 6500 K, CRI 70

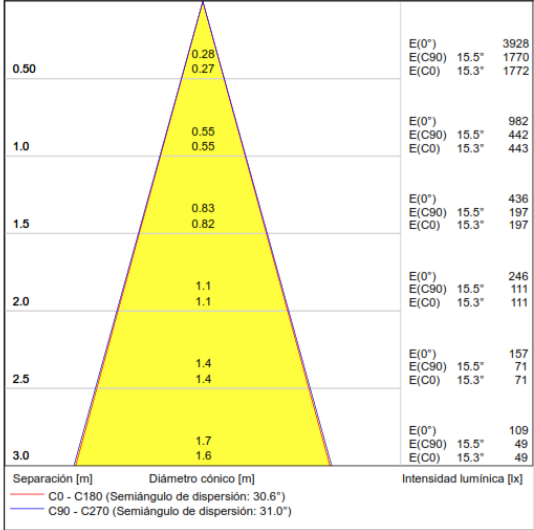
Emisión de luz 1 / CDL polar



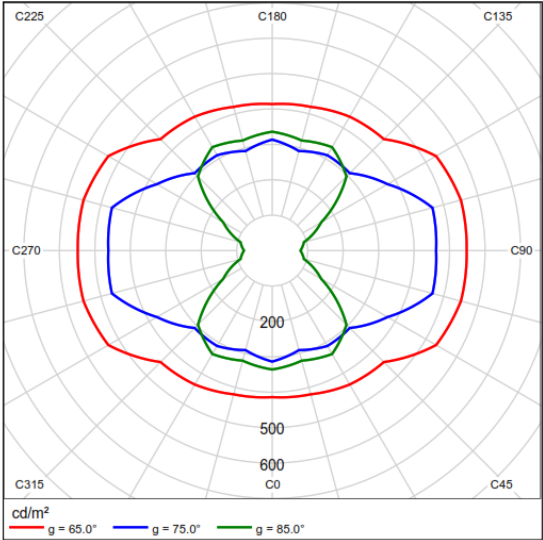
Emisión de luz 1 / CDL lineal

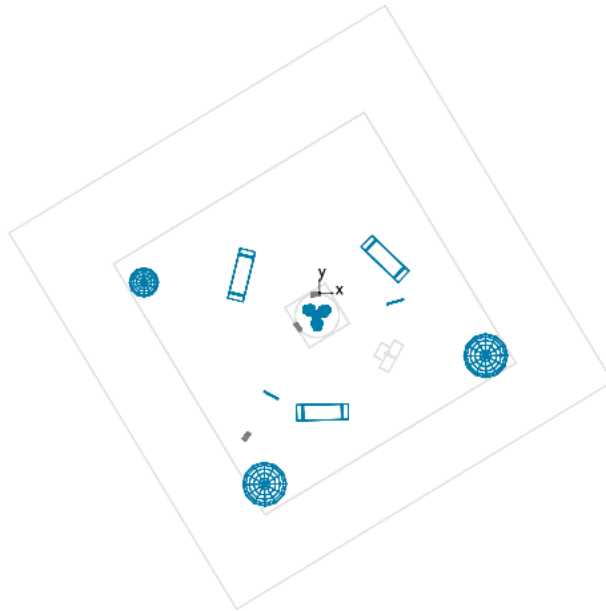


Emisión de luz 1 / Diagrama conico



Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



Objeto de resultado de superficies 36 (Muebles) / Iluminancia perpendicular (Adaptativamente)

Factor de degradación: 0.80

Objeto de resultado de superficies 36 (Muebles): Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) (Superficie)**Escena de luz: Escena de luz 1**

Media: 594 lx, Min: 546 lx, Max: 631 lx, Mín./medio: 0.92, Mín./máx.: 0.87

Isolíneas [lx]

Escala: 1 : 10

Colores falsos [lx]

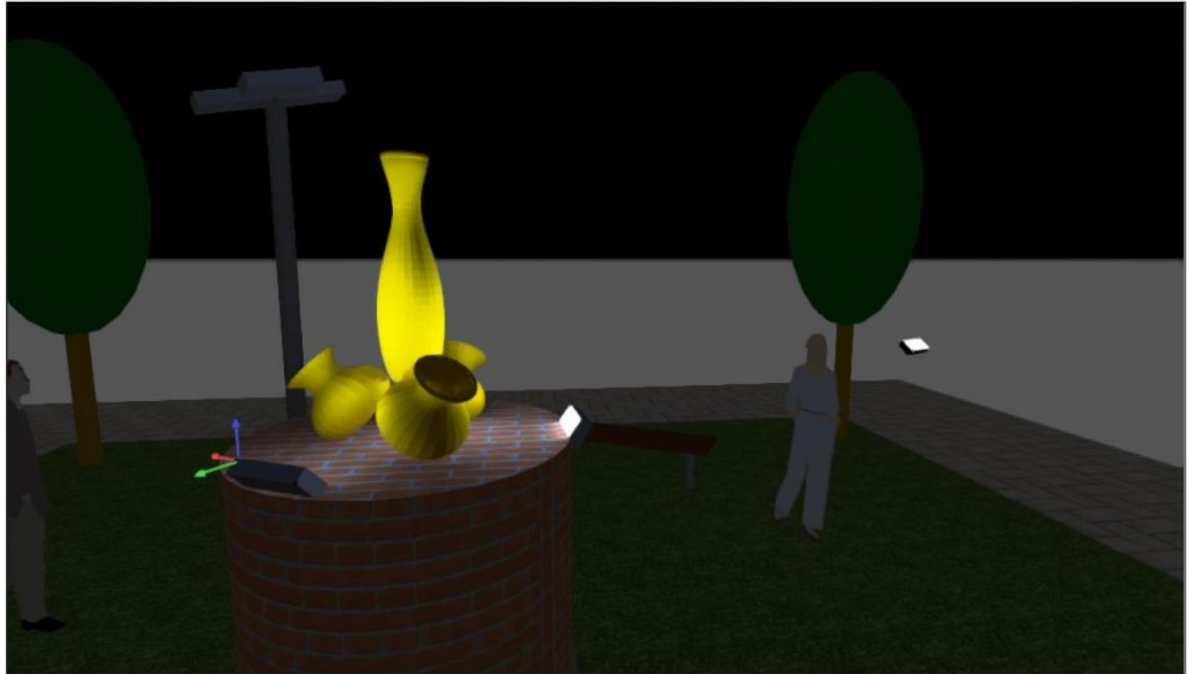
Escala: 1 : 10

Sistema de valores [lx]

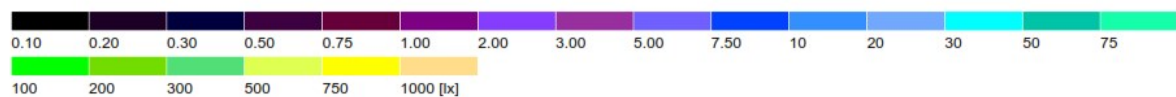
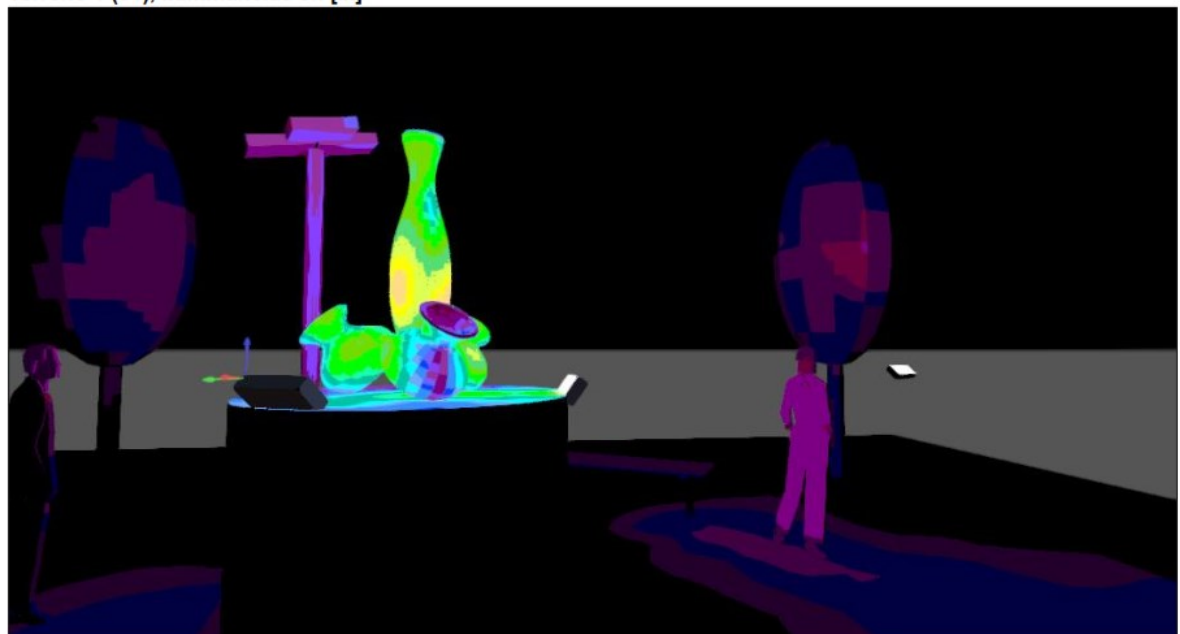
Escala: 1 : 10

Diseño de Iluminacion Monumento

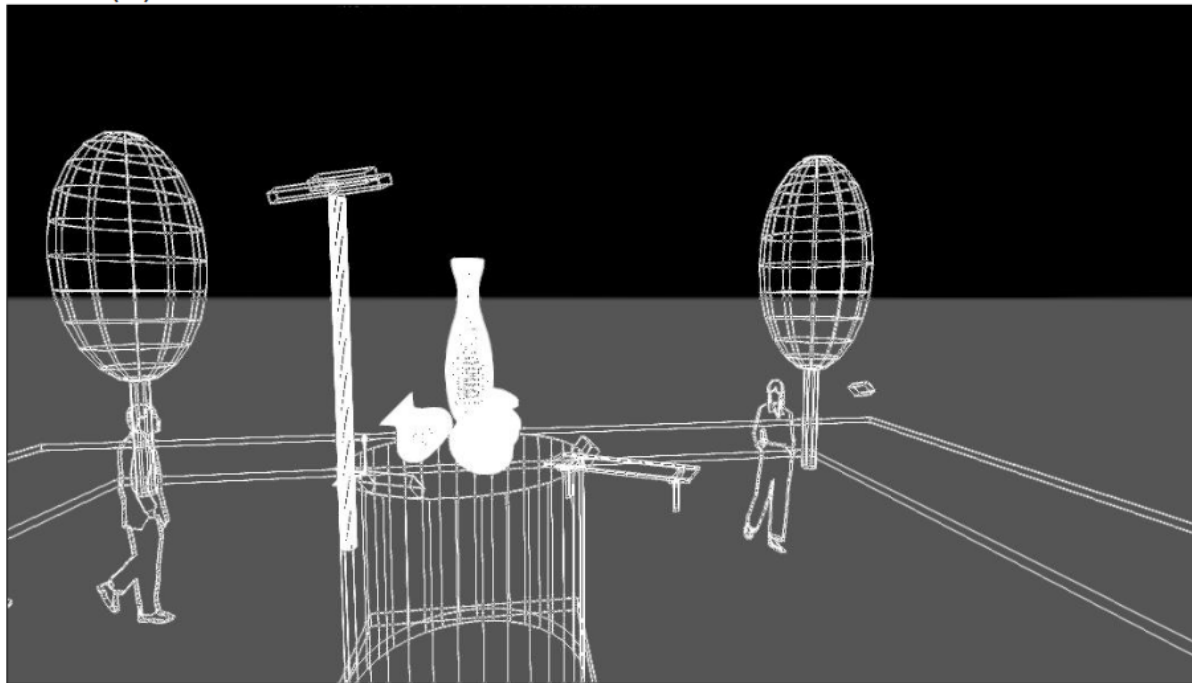
Terreno 1 (29)



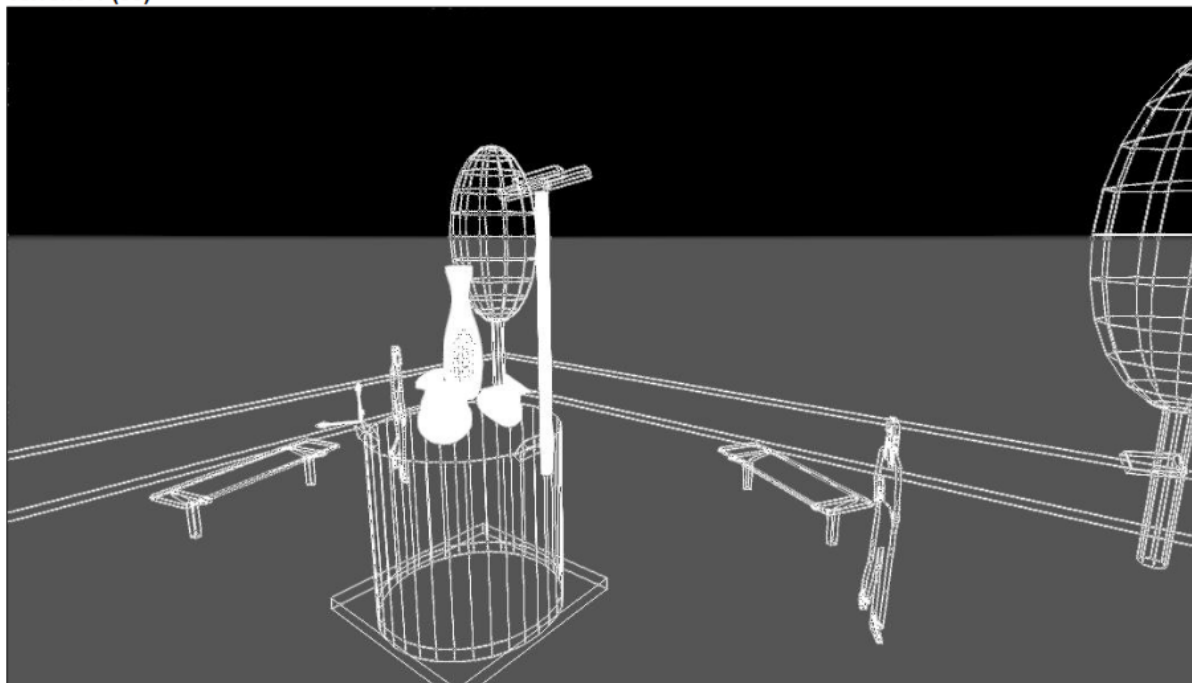
Terreno 1 (31), Iluminancias en [lx]



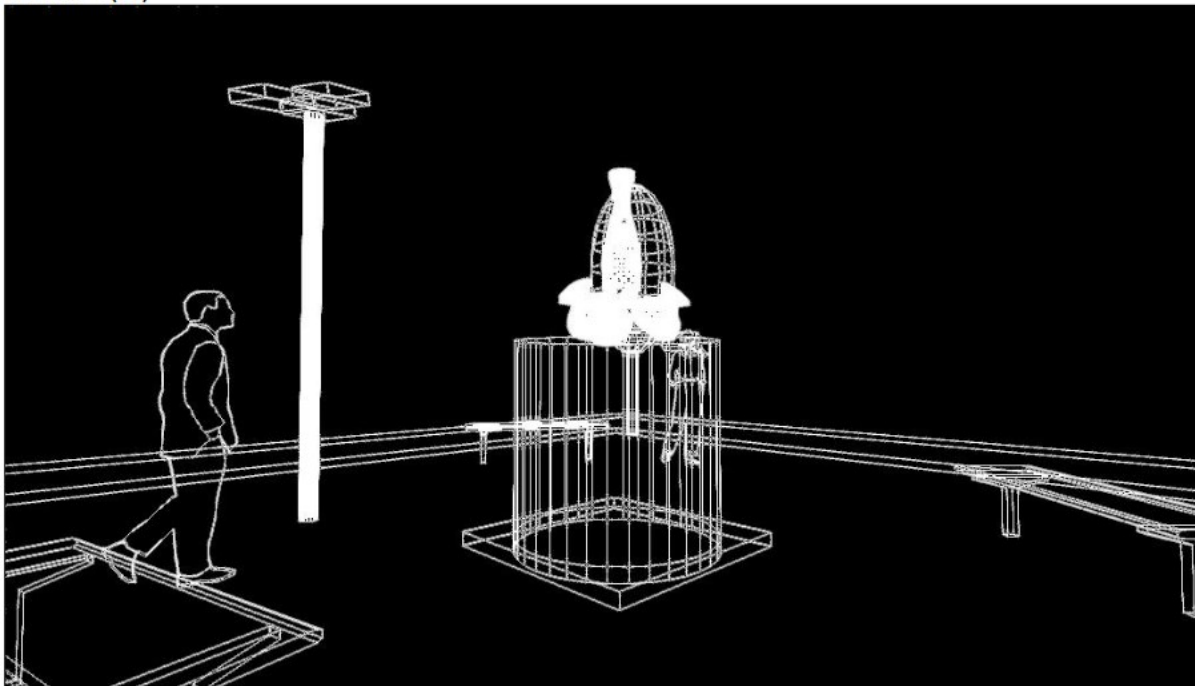
Terreno 1 (32)



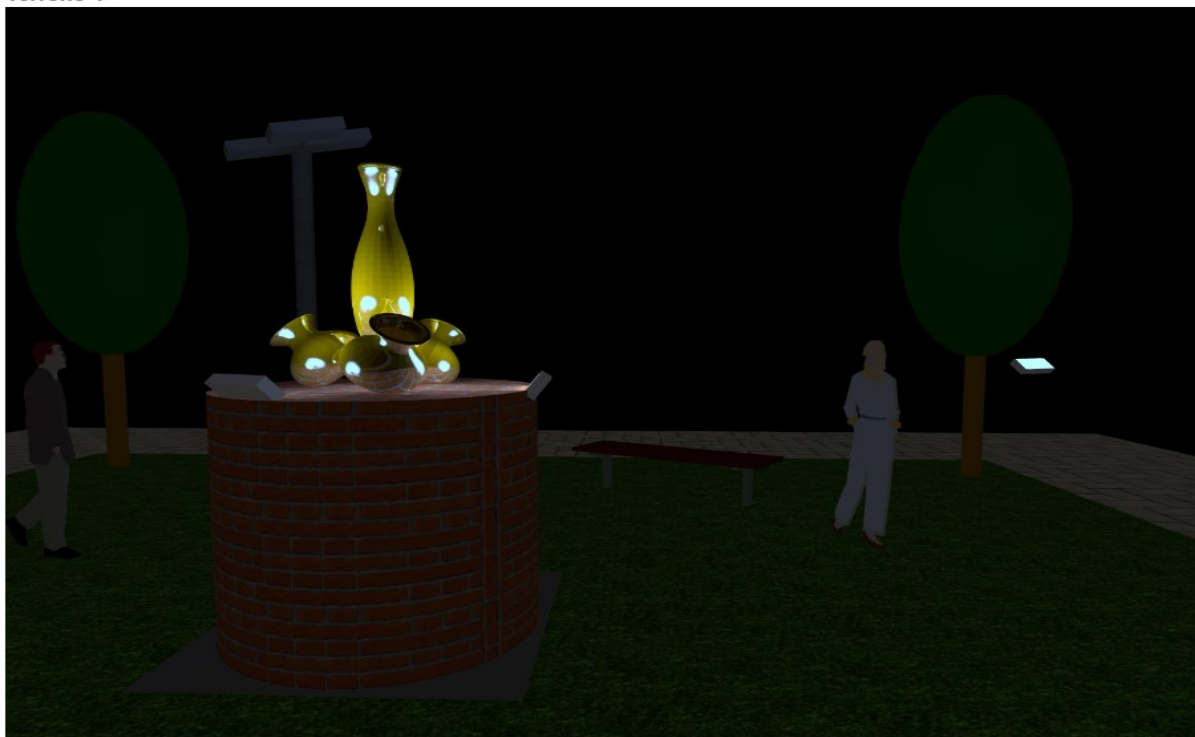
Terreno 1 (33)



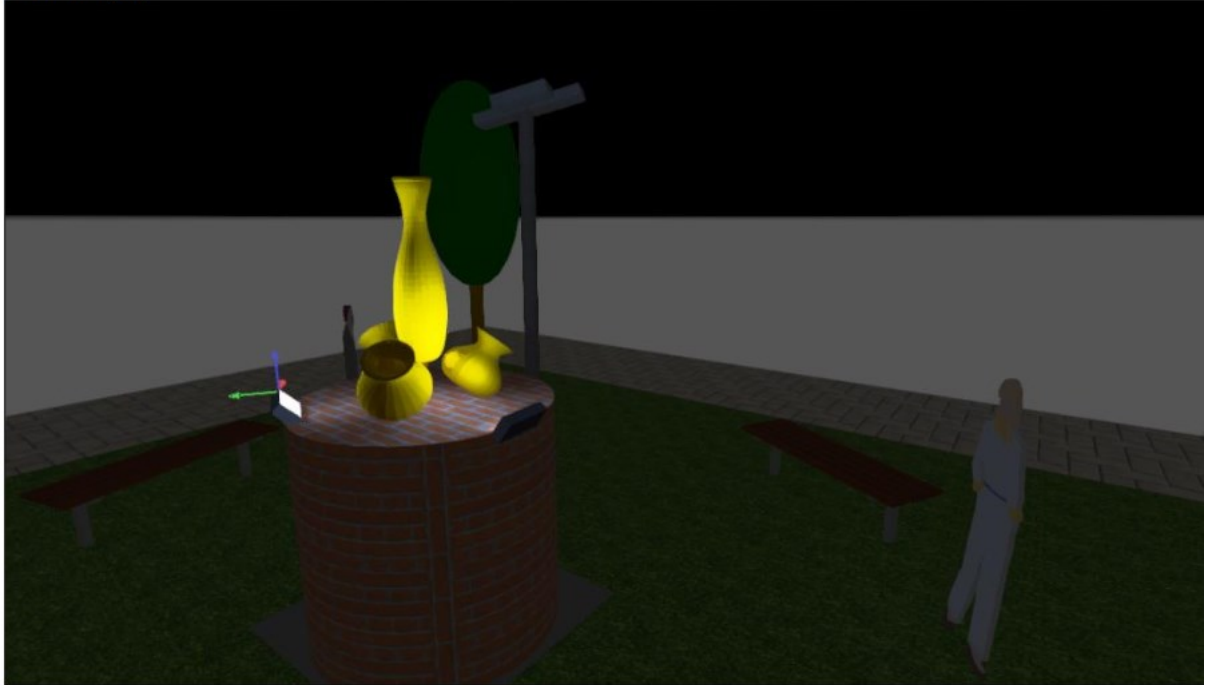
Terreno 1 (34)



Terreno 1

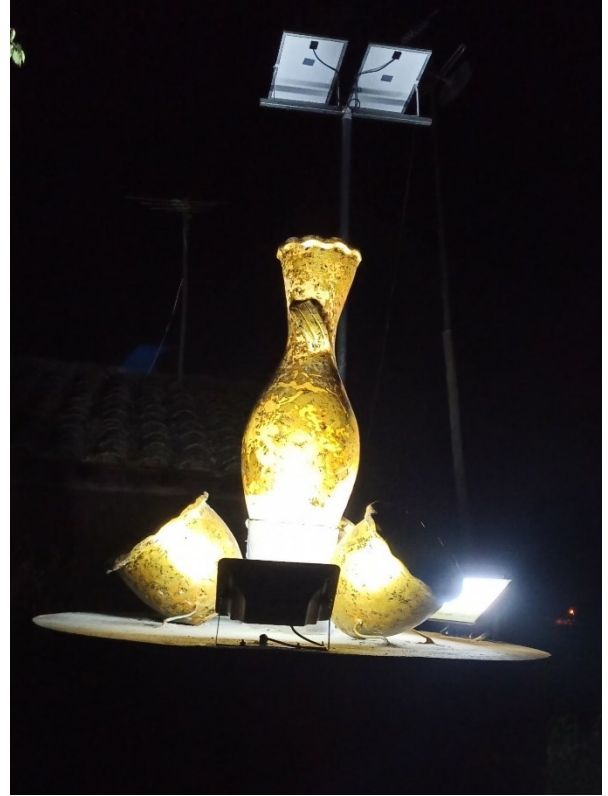


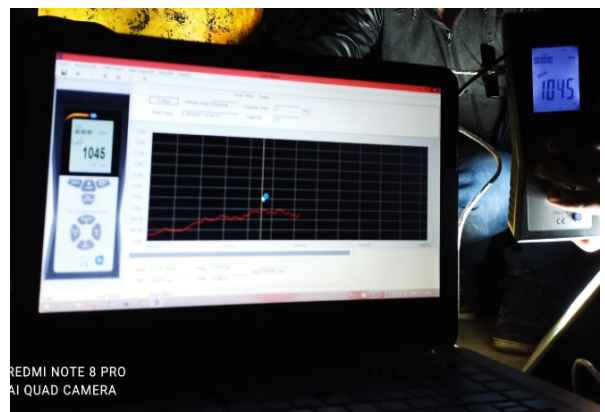
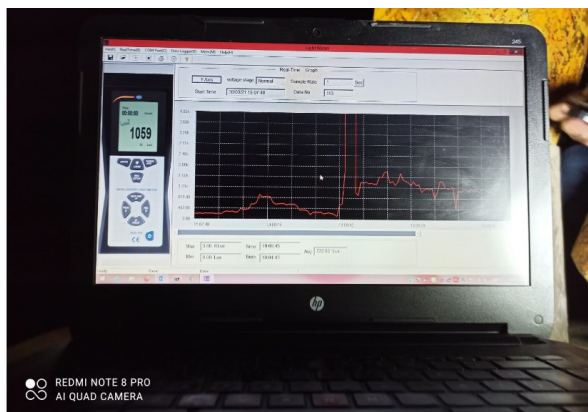
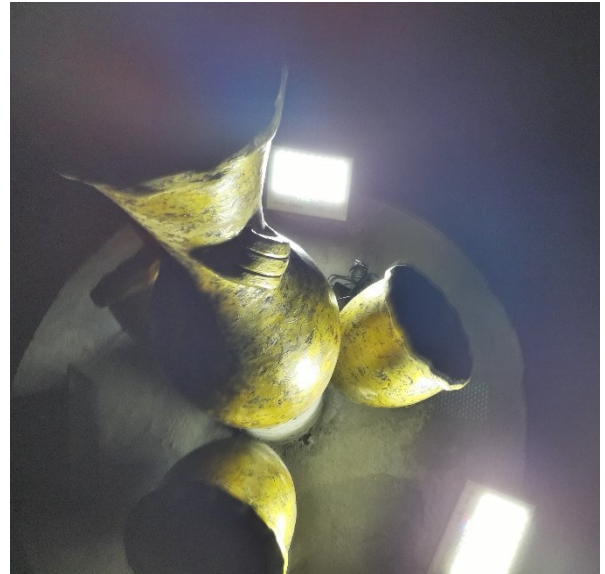
Terreno 1 (30)



ANEXO 7. Construcción del monumento e implementación del sistema fotovoltaico







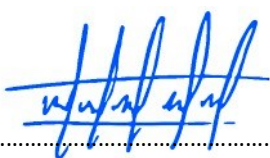
ANEXO 8. Proforma

LISTADO DE MATERIALES E INSUMOS					
PROYECTO:		MONUMENTO TURISTICO CON ILUMINACIÓN AUTONOMA			
RESPONSABLES:		JOSEPH CORREA; CRISTIAN MOROCHO			
Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. PARCIAL
A:	MANO DE OBRA				200,00
1	Oficial	hh	2,00	100,00	200,00
B:	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				280,40
1	Alambre negro # 16	Kg	0,45	3,00	1,35
2	Arena fina	m3	0,50	45,00	22,50
3	Arena gruesa	m3	0,50	45,00	22,50
4	Cemento	bls	4,00	7,00	28,00
5	Clavo para madera con cabeza de 2"	Kg	0,50	1,50	0,75
6	Ladrillo 27 x 13 x 9 cm	u	250,00	0,30	75,00
7	Malla soldada para losa 600 x 240 x 4,5 cm	u	1,00	20,00	20,00
8	Manguera Anillada para cable eléctrico de 1 1/2"	m3	7,00	0,50	3,50
9	Tabla de madera de 300 x 20 x 2 cm	u	4,00	2,20	8,80
10	Piedra mediana de 4"	m3	1,00	70,00	70,00
11	Pintura para exteriores	l	1,00	4,00	4,00
12	Tubo de aluminio de 300 x 7,62 cm	u	1,00	25,00	25,00
13	Viga de hierro 600 x 15 x 15 cm	u	2,00	12,00	24,00
C:	EQUIPOS				632,00
1	Conductor # 14	m	14,00	0,50	7,00
2	Reflector de 200 W IP 66	u	3,00	80,00	240,00
3	Panel solar de 25 W	u	3,00	30,00	90,00
4	Protector de hierro para reflector	u	3,00	15,00	45,00
5	Vasija de cemento 3 ollas, 1 jarrón	u	1,00	250,00	250,00
COSTO DIRECTO DE LA OBRA					1112,40
Gastos generales					80,00
COSTO TOTAL DE LA OBRA (USD):					1192,40



Nosotros, **Cristian Fernando Morocho Quishpi** portador de la cédula de ciudadanía N° **0302167754** y **Joseph Paul Correa Heredia** portador de la cédula de ciudadanía N° **0302112883**. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Implementación de Energía Fotovoltaica para Sistemas de Iluminación en Monumentos Turísticos”** 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 éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **25 de mayo de 2021**

F: 

Cristian Fernando Morocho Quishpi

C.I. **0302167754**

F: 

Joseph Paul Correa Heredia

C.I. **0302112883**