



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

**DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA  
ILUMINACIÓN ORNAMENTAL DE LA IGLESIA DE TURI -  
CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: LUIS ESTEBAN BERNAL BERNAL**

**DIRECTOR: Ing. DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ**

**CUENCA – ECUADOR**

**2021**

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



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

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

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN  
ORNAMENTAL DE LA IGLESIA DE TURI - CUENCA

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: LUIS ESTEBAN BERNAL BERNAL**

**DIRECTOR: Ing. DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ**

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**

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

## Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

**Luis Esteban Bernal Bernal** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0106635451**. Declaro ser el autor de la obra: “**Diseño del sistema fotovoltaico para la iluminación ornamental de la iglesia de Turi-Cuenca**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **9 de agosto de 2021**



F: .....

Luis Esteban Bernal Bernal

0106635451

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Esteban Bernal Bernal, bajo mi supervisión.



Firmado electrónicamente por:

**DANIEL ORLANDO  
ICAZA ALVAREZ**

---

**Ing. Daniel Icaza Alvarez MsC.**

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

Dedico primero a Dios por bríndame vida, salud y fortaleza para seguir siempre adelante y poder cumplir mis sueños y metas.

A mis amados padres, Luis y Rosario que me supieron dar su apoyo incondicional no solo durante toda mi carrera universitaria si no toda mi vida, convirtiéndose en principal motivación de superación para seguir adelante para mi han sido siempre un ejemplo de superación a seguir ha buscado siempre los medios para sacar a sus hijos adelante.

A mi pareja Gabriela quien es una persona importante en mi vida, por brindarme todo el apoyo moral constante y su ayuda en todo lo posible.

A mis hermanas Alexandra y Diana que son personas muy gratas e importantes que me han sabido dar su apoyo.

Finalmente, a mis todos mis compañeros que hemos compartido buenos y malos momentos pero que siempre están ahí para brindar una mano amiga y apoyarse en todo los que se pueda.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primero a Dios y a mi familia que me ha brindado su apoyo incondicional, para poder realizar este trabajo con éxito.

Reconociendo la gratitud del ingeniero Daniel Icaza, más que un director de tesis un amigo, con toda la capacidad y profesionalismo para guiar en todo proyecto realizado, siendo de gran importancia todas las observaciones y críticas que ha permitido generar una formación profesional.

Retribuyo el agradecimiento a todos los que conforman la Fundación Iluminar Luz y Color para Cuenca en especial a Doctor Ricardo Medina e ingeniero Walter Morocho, por brindarme la confianza y designarme este proyecto confiando en mis capacidades como futuro profesional, y su vez facilitándome la información para el mejor desarrollo del proyecto.

Un especial agradecimiento a los ingenieros Carlos Méndez, Gerardo Campoverde, Pablo Arias, Javier Cabrera, Pablo Chacho, Carlos Flores, Santiago Pulla, Xavier Gutiérrez y Diego Morales, que, con su conocimiento y experiencias, me dejaron grandes enseñanzas que me facilitaron para desarrollar los diferentes capítulos.

Agradezco a la Universidad Católica de Cuenca quienes colaboran o contribuyen a formar mejores profesionales.

Además, a todas las personas que supieron apoyar de forma desinteresada en la recaudación de información.

Esteban Bernal

## RESUMEN

En la actualidad los sistemas de iluminación tradicional que utilizan gas compuesto por vapor de metal, son totalmente ineficientes por su alto consumo energético y su mala difusión luminosa. Se han creado nuevas tecnologías en iluminación que disminuyen el consumo energía, y tienen un mejor espectro lumínico. La tecnología también se ha desarrolla en los sistemas fotovoltaicos, creando paneles con mayor eficiencia y potencia. Los reguladores de carga existen de dos tipos denominado PWM (modulación por ancho de pulso) este sistema es de menor eficiencia, comparado con los controladores MPPT (seguidor del punto de máximo potencia). Las baterías óptimas para el proyecto son de tipo gel debido a su costo, no necesita de mantenimiento y soporta un gran número ciclos de carga y descarga. Las selecciones del tipo de inversor se hacen en relación a la carga y demanda instalada. El proyecto busca la reducción del consumo de energía eléctrica dispuestas por el sistema de distribución de la red pública. A través del análisis de los costos se ha determinado que un sistema fotovoltaico no representa actualmente un costo beneficio, pero representa un impacto social que fomentaría a la utilización de las energías renovables en la ciudad y el país disminuyendo sus costos iniciales, a mayor demanda menor es su costo.

*Palabras claves: sistema, fotovoltaico, demanda, iluminación, radiación*

## **ABSTRACT**

Currently traditional lighting systems that use gas composed of metal vapor, they are totally inefficient due to their high energy consumption and poor light diffusion. New lighting technologies have been created that reduce energy consumption, and have a better light spectrum. Technology has also been developed in photovoltaic systems, creating panels with greater efficiency and power. Load regulators exist of two types called PWM (pulse width modulation) this system is less efficient, compared to MPPT (maximum power point follower) controllers. The optimal batteries for the project are gel type due to their cost, do not need maintenance and support a ge number of charging and discharging cycles. The selection of the type of inverter is made in relation to the load and demand installed. The project seeks to reduce the consumption of electricity arranged by the distribution system of the public network. The use of renewable energies in the city and the country by reducing their initial costs, the higher the demand, the lower its cost.

Keywords: photovoltaic, system, demand, lighting, radiation

## INTRODUCCIÓN DE CONTENIDO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad .....	ii
CERTIFICACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUCCIÓN DE CONTENIDO .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE ANEXOS .....	xii
CAPITULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
CAPITULO 2 .....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1. Radiación solar.....	3
2.2. Como determinar la radiación e irradiancia en una superficie .....	3
2.3. Instrumento para medir la potencia de la energía solar.....	4
2.4. Parámetros de irradiación solar en el sitio.....	5

2.5.	Análisis de irradiación solar del sitio mediante datos proporcionados por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables .....	8
2.6.	Principio fotoeléctrico para la generación de energía eléctrica.....	9
	CAPITULO 3 .....	10
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	10
3.1.	Estudios lumínicos de fachada exterior .....	10
3.2.	Selección del tipo de luminarias .....	12
3.3.	Distribución luminosa.....	15
3.4.	Simulación de iluminación en DIALux de la fachada exterior de la iglesia. ....	16
	CAPÍTULO 4 .....	28
4.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	28
4.1.	Estimación del ángulo de inclinación según las coordenadas geográficas.....	28
4.2.	Selección del panel fotovoltaico .....	29
4.3.	Calculo de protecciones .....	47
4.4.	Comparación de paneles solares .....	50
4.5.	Selección de tipos baterías.....	50
	Ventajas y Desventajas de los diferentes tipos de baterías. ....	58
4.6.	Selección y análisis del controlador.....	60
4.7.	Selección del inversor.....	63
4.8.	Sistema de transferencia de carga .....	65
	CAPÍTULO 5 .....	66
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	66
5.1	.....	66
5.1.	Análisis de costos.....	66
5.2.	Análisis del Pliego Tarifario .....	68
5.3.	Comparación de Costos entre el servicio eléctrico y el sistema fotovoltaico .....	71

5.4. Retorno de inversión inicial.....	72
CONCLUSIONES .....	74
RECOMENDACIONES .....	76
BIBLIOGRAFÍA .....	77
Anexo 3 Estante para las baterías .....	86
Anexo 4 Soporte para los paneles .....	87

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Conversiones de unidades.....	4
Tabla 2 Datos medios, diarios, mensuales en el plano horizontal .....	5
Tabla 3. Datos medios, diarios, mensuales en el plano inclinado hacia el Ecuador .....	6
Tabla 4. Radiación solar global estimada .....	9
Tabla 5 Cuadro de cargas existentes .....	10
Tabla 6 Total de Demanda.....	11
Tabla 7 Cuadro de cargas para el diseño proyectado:.....	11
Tabla 8 Tipos y características técnicas de las luminarias .....	12
Tabla 9 Tipos y características de luminarias a utilizar. ....	13
Tabla 10. Datos técnicos panel 280W: .....	30
Tabla 12. Datos técnicos panel 340W .....	33
Tabla 13. Datos técnicos panel 405W .....	36
Tabla 14. Potencia de consumo hora/día .....	39
Tabla 15. Datos a utilizar para dimensionar el sistema fotovoltaico .....	40
Tabla 16. Datos técnicos batería Plomo Ácido .....	52
Tabla 17. Datos técnicos batería Gel.....	54
Tabla 18. Datos técnicos Batería AMG.....	56
Tabla 19. Datos técnicos Batería de litio .....	58
Tabla 20. Ventajas y Desventajas.....	58
Tabla 21. Comparativa de baterías a usar.....	60
Tabla 22. Diferencias de los controladores PWM-MPPT .....	61

Tabla 23. Datos informativos controlador PWM .....	61
Tabla 24. Datos informativos controlador MPPT .....	62
Tabla 25. Datos técnicos inversor 2000w .....	63
Tabla 26. Presupuesto referencia del proyecto de iluminación.....	66
Tabla 27. Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico .....	66
Tabla 28. Tarifa genera en bajo voltaje, para el sistema actual.....	69
Tabla 29. Costos y Consumo anual de energía en el sistema Actual.....	69
Tabla 30. Tarifa genera en bajo voltaje sin demanda, para el sistema iluminación Proyectado.	70
Tabla 31. Costos y Consumo anual de energía en el sistema proyectado.....	70
Tabla 32. Suposición de costo proyectado a 10 años del sistema fotovoltaico.....	71
Tabla 33. Suposición del costo proyectado del servicio eléctrico a 10 años .....	72

### **LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1 Datos medios, diarios, mensuales en el plano horizontal .....	6
Fig. 2 Datos medios, diarios, mensuales en el plano inclinado.....	7
Fig. 3 Estaciones meteorológicas del (INER) en Cuenca .....	8
Fig. 4 Efecto fotoeléctrico .....	9
Fig. 5 Fachada Frontal actual .....	17
Fig. 6 Simulación en colores falsos de radiación lumínica .....	19
Fig. 7 Rango de nivel de iluminación en colores falsos.....	20
Fig. 8. Fachada lateral Actual.....	21
Fig. 9 Simulación en colores falsos de radiación lumínica fachada lateral.....	22
Fig. 10 Fachada frontal .....	23
Fig. 11. Simulación en colores falsos de luminosidad, fachada frontal .....	24
Fig. 12 Fachada Lateral .....	25
Fig. 13 Simulación en colores fasos de luminosidad, fachada lateral.....	26
Fig. 14 Fachada superior .....	27
Fig. 15 Eje polar y plano de la eclíptica .....	28
Fig. 16 Panel y sus dimensiones .....	30
Fig. 17 Curvas del módulo 280 W I-V .....	31
Fig. 18 Curvas del módulo 280 W P-V.....	32
Fig. 19 Panel y dimensiones .....	33
Fig. 20 Curvas I-V del módulo de 340w.....	34

Fig. 21 Curvas I – V en relación a la temperatura .....	35
Fig. 22 Panel y dimensiones .....	36
Fig. 23 Curvas I-V en relación a la Potencia .....	37
Fig. 24 Curvas I – V en relación a la temperatura .....	38
Fig. 25 Diagrama de conexión de los paneles al controlador de carga .....	43
Fig. 26 Conexión del banco de baterías .....	45
Fig. 27 Ubicación de los paneles fotovoltaicos .....	48
Fig. 28 Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico .....	49
Fig. 29 Estructura de la batería de Plomo acido.....	51
Fig. 30 Batería de plomo ácido 12v 205Ah.....	51
Fig. 31 Estructura de la batería de gel... ..	53
Fig. 32 Batería de gel .....	53
Fig. 33 Estructura de la batería AMG .....	55
Fig. 34 Batería AMG.....	55
Fig. 35 Estructura de la batería de litio .....	57
Fig. 36 Batería de litio.....	57
Fig. 37 Controlador de carga PWM.....	61
Fig. 38 Controlador de carga MPPT .....	62

### **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1 Fotos del sistema de iluminación actual.....	80
Anexo 2 Tipo de conductor de conductor para la conexión de los paneles solares .....	85
Anexo 3 Estante para las baterías .....	86
Anexo 4 Soporte para los paneles .....	87
Anexo 5 Diagrama Sistema de transferencia de carga .....	88
Anexo 6 Certificado de aprobación la Fundación Iluminar .....	89

## **CAPITULO 1**

### **1. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal diseñar un sistema fotovoltaico, para un nuevo rediseño del sistema lumínico de la fachada exterior de la iglesia de Turi – Cuenca – Ecuador, el diseño de la iluminación proyectada es proporcionado por la Fundación Iluminar y servirá para determinar la factibilidad del proyecto a largo plazo y su rentabilidad en comparación con el sistema de distribución de la red pública de energía eléctrica.

El análisis del margen de beneficio de un sistema fotovoltaico se debe analizar en primera instancia, la irradiación solar del sitio o (lugar) en donde se propone realizar el proyecto con energía renovable, para aprovechar de mejor manera el recurso solar. Este trabajo muestra como es el ciclo de irradiancia solar durante todo un año y que cantidad de energía que da en una determinada superficie terrestre de la zona estudiada.

La importancia que tiene realizar un rediseño de un sistema de iluminación, para la implementación de un sistema fotovoltaico que suministre la cantidad de energía eléctrica suficiente que le autonomía durante un periodo prolongado de tiempo. Para ello es importante remplazar la tecnología obsoleta, que tiene un mayor consumo de energía, poca eficiencia lumínica, fallas en la simetría y asimetría de proyección de la luz en baños de pared perdiendo contornos los cual se desean resplandecer una obra arquitectónica. Con luminarias de alta eficiencia energética como es la tecnología LED se consigue disminuir el consumo de energía hasta un cincuenta por ciento comparando con la tecnología tradicional, además de ello este tipo de luminarias tienen mejorada las pantallas de proyección que permite una mejor difusión de la luz ya sea simétrica o asimétrica.

En algunas partes del país ya se ha realizado estudios fotovoltaicos para diversos proyectos, comparando el costo beneficio que representa la implementación de un sistema fotovoltaico con el sistema de distribución de la red pública de energía eléctrica, que constata que a mayor precio por kilovatio hora suministrada por la red pública, el sistema fotovoltaico representa un costo beneficio a largo plazo.

#### **1.1. Objetivos**

##### **Objetivos Generales**

- Diseñar un sistema fotovoltaico que tenga la suficiente autonomía para abastecer de energía en el sistema de iluminación ornamental exterior.
- Reducir el consumo de energía dispuesta por la red pública mejorando la eficiencia de la iluminación con el uso de energía renovable.

### **Objetivos Específicos**

Diseñar un sistema lumínico en Dialux de la fachada exterior de la iglesia existente y proyectada.

- Realizar un análisis de los equipos de iluminación existentes y sus datos técnicos.
- Analizar el consumo de energía existente y proyectado en el sistema de iluminación.
- Realizar los cálculos pertinentes para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Obtener los resultados de factibilidad para implementar un sistema fotovoltaico en relación al costo beneficio.

### **1.2. Antecedentes**

En base a una necesidad de mejorar el sistema de iluminación actual, de uno los puntos más concurridos por los turistas en la ciudad de Cuenca – Ecuador. Con un análisis previo realizado por la Fundación Iluminar encargada de dar realce las obras arquitectónicas patrimoniales mediante la utilización de sistemas de iluminación, se proyecta la idea de realizar un sistema fotovoltaico que sea auto sustentable en el consumo de energía eléctrica para la iluminación exterior, que permanece en constantes uso durante todo el año. De esta manera disminuir en consumo de energía eléctrica disponible por la red pública y fomentar al uso de las energías renovables.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La investigación propuesta mediante la aplicación de conocimientos técnicos impartidos durante todos los ciclos de la formación académica, servirá para la obtención de un mayor conocimiento en el tema relacionado a las energías renovables, especialmente la energía fotovoltaica en el que se centra el proyecto de investigación. El campo físico en el cual se va aplicar es totalmente nuevo en la ciudad y el país ya que es un lugar considerado como patrimonio histórico, es uno de los puntos más visitados por los turistas locales, nacionales y extranjeros, en donde juega un papel importante contar con una buena iluminación que resalte la belleza de la obra arquitectónica y así también el diseño de la ubicación de paneles debe ser inherente con la estética de la iglesia.

## CAPITULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Radiación solar

La radiación es un tipo de energía producida por el sol que se difunde a través del espacio en todas las direcciones por medio de ondas electromagnéticas, la cual es absorbida por la superficie y posteriormente devuelta en dirección al espacio exterior.

Los tipos de radiación existentes son:

- **Radiación solar extraterrestre:** es aquella que incide en el límite de la atmósfera terrestre.
- **Radiación de onda corta:** es la radiación solar extraterrestre que se encuentra en el límite de la atmósfera.
- **Radiación directa:** Es la radiación del sol que llega a la superficie de la tierra sin hacer un cambio de dirección.
- **Radiación difusa:** Es la proporción de energía solar que incide sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera.
- **Radiación reflejada:** La radiación es dirigida hacia la parte superior, difundida por la atmósfera y la superficie terrestre.
- **Radiación terrestre:** En esta radiación la energía es electromagnética de onda larga emitida por la superficie terrestre.
- **Radiación global:** Esta energía incide sobre una superficie, se obtiene de la radiación solar diaria emitida desde las primeras horas de la mañana (6am) hasta el final de la tarde (6 pm), este ciclo se puede cambiar dependiendo de las estaciones del año donde hay días que hay una incidencia del sol más temprana, como también en el atardecer.

#### 2.2. Como determinar la radiación e irradiancia en una superficie

La transmisión de energía por radiación electromagnética se llama flujo radiante que tiene unidades de energía en unidad de tiempo y se expresa mediante:

$$F = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

La medida es Joules por segundo (J/s) que equivale a un vatio y a su vez es la unidad de potencia eléctrica, el flujo radiante del sol es aproximado a  $3.8 \times 10^{26}$  vatios. La densidad de flujo radiante se determina mediante:

$$\left( \frac{\text{Energía}}{\text{Área Tiempo}} \right) \quad (2)$$

Las proporciones de radiación son manifestadas generalmente en término de irradiancia siendo esta una medida de flujo de energía recibida por unidad de área. La irradiancia es integrada en el tiempo como  $\left( \frac{\text{Energía}}{\text{Área}} \right)$  y su unidad de medida es  $(kWh/m^2)$  por día o  $(MJ/m^2)$

### 2.3. Instrumento para medir la potencia de la energía solar

El pirómetro mide la potencia en vatios por metro cuadrado  $(W/m^2)$  cada minuto, si estos datos se integran en el tiempo de una hora, quedarían de esta manera  $(Wh/m^2)$ .

Tabla 1 Conversiones de unidades

Unidad	Equivalencia
1 vatio (w)	1 Joule / segundo (J/s)
1 Wh	3600 J
1 kWh	3.6 MJ
1 Wh	3.412 Btu
1 Caloría	0.001163 Wh
1 Caloría	4.187 Joule
1 Kcal/s	4.1868 Kw
1 Kcal/h	1.63 Wh/m <sup>2</sup>
1 cal/ cm <sup>2</sup>	11.63Wh/M <sup>2</sup>
1 cal/ cm <sup>2</sup>	1 langley (ly)
1 langley /min	0.06978W/cm <sup>2</sup> =697.8 W/m <sup>2</sup>
1 MJ/m <sup>2</sup>	0.27778 kWh/m <sup>2</sup>
1 MJ/m <sup>2</sup>	277.78 Wh/m <sup>2</sup>
1 MJ/m <sup>2</sup>	23.88 cal/ cm <sup>2</sup>
1 BTU	252 calorías
1 BTU	1.05506 KJ

1 Joule	9.48x10 <sup>-4</sup> BTU
1 Btu/pie <sup>2</sup>	0.271 cal/cm <sup>2</sup>
1 cal/(cm <sup>2</sup> *min)	60.29 J/m <sup>2</sup> por día

Fuente: (Bernal, 2021)

## 2.4. Parámetros de irradiación solar en el sitio.

### Análisis de irradiación del sitio mediante datos proporcionados por la NASA

Para determinar la factibilidad de un proyecto solar es necesario contar con datos oficiales de radiación solar del lugar a realizar el proyecto y evaluar el recurso energético. Los datos tomados para este proyecto son de la página web “NASA Meteorology”, en el ítem de energías renovables y sub ítem climatología en donde se digitaron datos tomados de Google Maps que nos da los valores exactos de latitud y longitud o coordenadas del lugar a evaluar.

En la siguiente tabla y gráfica se representa los datos medios, diarios, mensuales de la irradiación solar en el plano horizontal evaluado en KWh/m<sup>2</sup>, los promedios meteorológicos son a 30 años (Ene 1984 - Dic 2013).

Tabla 2 Datos medios, diarios, mensuales en el plano horizontal

Mes	KWh/m <sup>2</sup>
Enero	4.49
Febrero	4.59
Marzo	5.04
Abril	4.91
Mayo	4.51
Junio	4.18
Julio	4.01
Agosto	4.5
Septiembre	4.74
Octubre	4.51
Noviembre	4.72
Diciembre	4.71

Promedio Anual	4.58
----------------	------

Fuente: (NASA, 2021)

Ilustración de datos medios, diarios, mensuales en el plano horizontal tomados de la tabla 2.

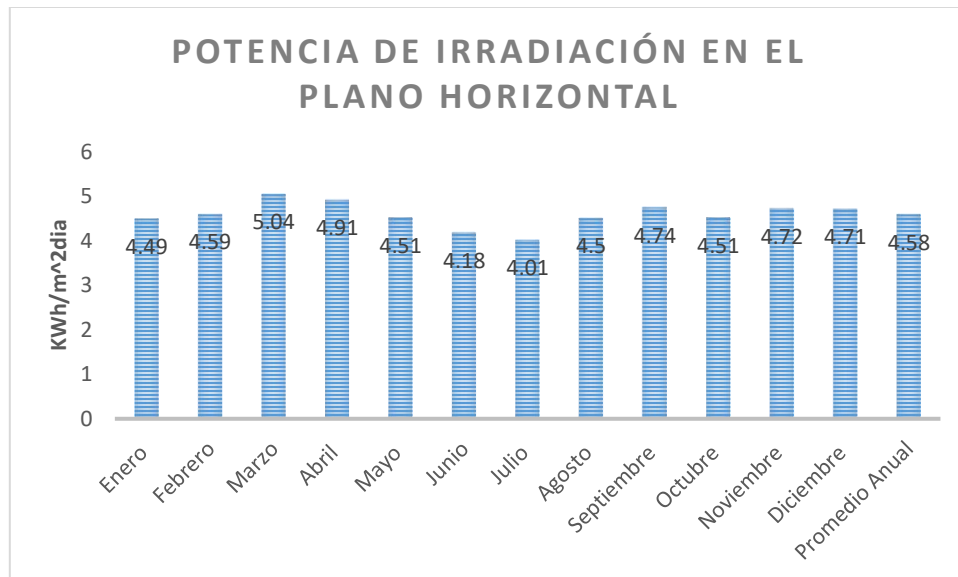


Fig. 1 Datos medios, diarios, mensuales en el plano horizontal

Fuente: (Bernal, 2021)

En la apreciación de la gráfica 1 demuestra que la irradiación solar es casi constante durante el año con la variación más alta en el mes de marzo, pero a su vez no se considera una gran diferencia con respecto al mes de julio con menor irradiación.

En la siguiente tabla 3 y grafica 2 se presentan los datos medios, diarios, mensuales de Irradiancia solar para la latitud inclinada menos 15° hacia el Ecuador, evaluado en KWh/m²,

Tabla 3. Datos medios, diarios, mensuales en el plano inclinado hacia el Ecuador

Mes	KWh/m²
Enero	4.57
Febrero	4.38
Marzo	4.91
Abril	4.62
Mayo	4.12
Junio	3.77
Julio	3.68
Agosto	4.19

Septiembre	4.58
Octubre	4.45
Noviembre	4.79
Diciembre	4.83
Promedio anual	4.41

Fuente: (NASA, 2021)

Ilustración de datos de la tabla 3:

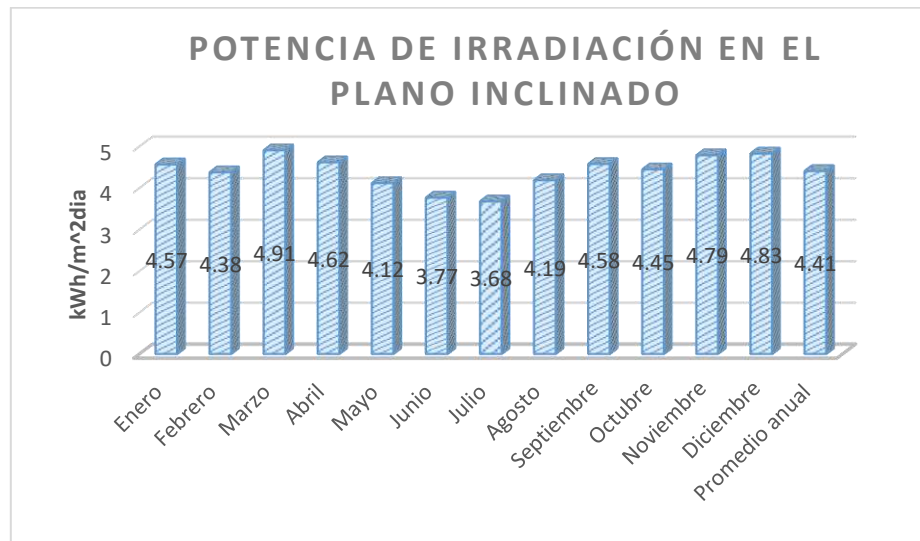


Fig. 2 Datos medios, diarios, mensuales en el plano inclinado

Fuente: (Bernal, 2021)

Los datos representados en las ilustraciones 1 y 2 representan la irradiación solar promedio de cada mes durante todo el año constatando que la radiación solar en un plano horizontal tiene mayor irradiación que en un plano inclinado. Un sistema fotovoltaico que esté ubicado desde el plano horizontal sería lo ideal para captar mayor energía, pero debido a condiciones propias del ambiente no es posible porque el polvo o partículas cubrirían el panel disminuyendo su eficiencia, para ello se realiza un análisis promedio entre los dos planos, horizontal e inclinado y se obtiene un ángulo de inclinación que permite aprovechar mejor este recurso.

¿Qué es la hora solar pico (HSP)?

Es el número de horas que tiene un día con una irradiancia de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  y se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$HSP = \frac{\text{Irradiación global}}{1000m^2} \quad (3)$$

## 2.5. Análisis de irradiación solar del sitio mediante datos proporcionados por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables

El área de estudio se realizó en el cantón Cuenca en el lapso entre enero a diciembre del 2014. Para el levantamiento de información se utilizó un aporte del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) en donde se obtuvo datos como precipitación, temperatura, y radiación solar en 16 estaciones dispuestas por el (INER) las cuales son: Sinincay, Santa Ana, Baños, Cuenca, Chiquintad, Llacao, Turi entre otras como se muestra en la figura 3.

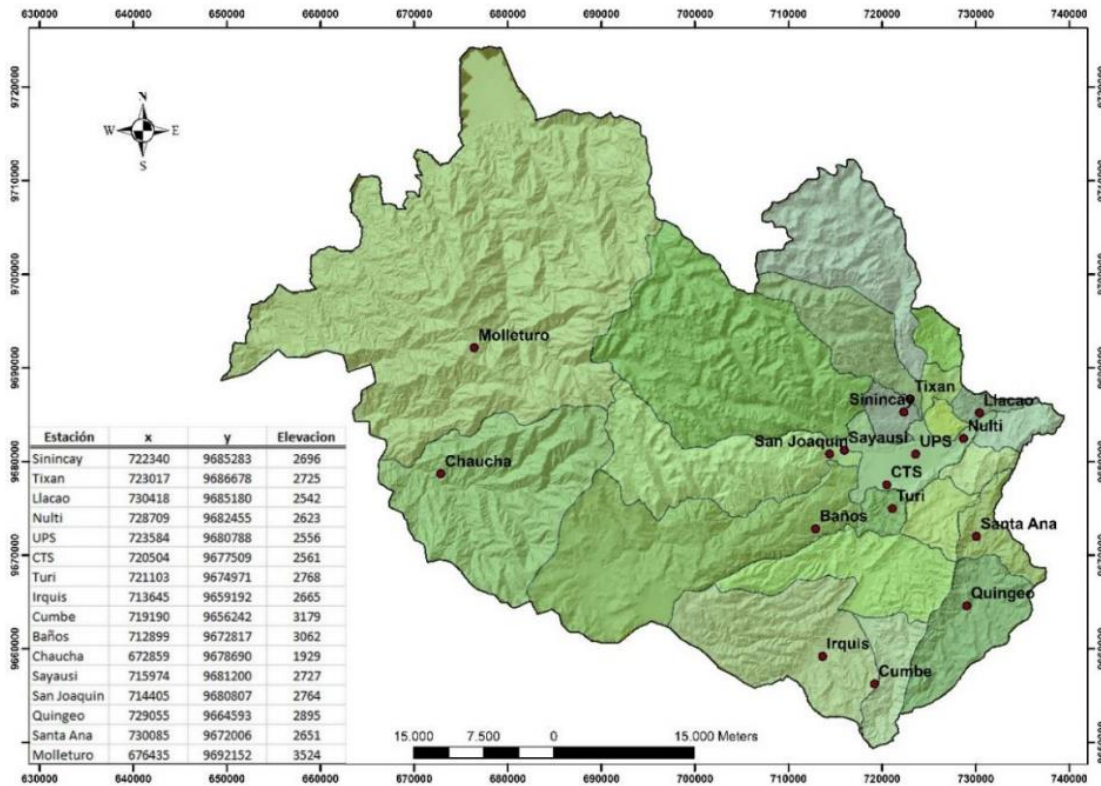


Fig. 3 Estaciones meteorológicas del (INER) en Cuenca

Fuente: (Orellana, 2015)

Con datos obtenidos de otros autores, en investigaciones realizadas sobre la irradiación solar, este trabajo se enfatiza en la zona sur oeste del cantón Cuenca donde se necesita conocer la irradiación solar de la parroquia “Turi”, especialmente en la siguiente Tabla 4. demuestra la irradiación solar global (día) de la zona sur oeste.

Tabla 4. Radiación solar global estimada

Estación	Radiación solar global (MJ m <sup>2</sup> día )	Amplitud térmica
<i>Santa Ana</i>	14.274	11.60
<i>Quingeo</i>	15.01	9.80
<i>Baños</i>	13.65	8.31
<i>Turi</i>	14.77	10.87

Fuente: (Orellana, 2015)

## 2.6. Principio fotoeléctrico para la generación de energía eléctrica

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno que genera la liberación de los electrones en materiales metálicos, no metálicos, líquidos o gases por la acción de radiación absorbida.

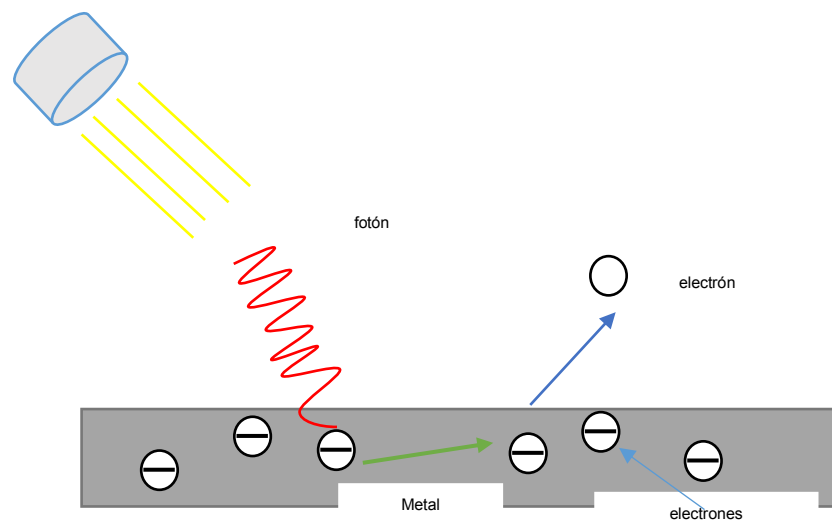


Fig. 4 Efecto fotoeléctrico

Fuente: (Bernal, 2021)

La energía fotovoltaica es una energía limpia que evita la contaminación y no genera desechos peligrosos para el planeta. La generación de energía mediante la radiación se produce en semiconductores denominados célula fotovoltaica.

## CAPITULO 3

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

#### 3.1. Estudios lumínicos de fachada exterior

##### Levantamiento de información de componentes lumínicos existentes

El diseño actualmente consta de cuatro luminarias tipo Minitierra de sodio de alta presión (70W – 220V) empotradas en el piso a 50cm de la pared, para conseguir el haz luminoso en las columnas de la entrada principal.

Para resaltar las formas y arcos de la fachada se instalaron en las paredes frontales tres luminarias doble aplique con doble flujo luminoso de haluro metálico (HQL) (70W -220V) y ocho del mismo tipo en la fachada lateral.

De igual manera para destacar las columnas superiores, la cúpula y la cruz se colocaron trece proyectores tipo cañón HQL (70W -220V) las cuales se ubican en las cornisas y pasamanos.

En los aleros laterales se ubican treinta y dos luminarias tipo ojo de buey empotradas en la madera con vidrio templado de protección y con focos incandescentes tipo reflector (60W -120 V) con boquillas E-27.

En el exterior a la iglesia se instalaron tres luminarias empotradas en la madera, son de sodio (150W -220V).

Tabla 5 Cuadro de cargas existentes

Carga instalada y demanda máxima								
Tablero de distribución	N° Circuito	Descripción del circuito	N° de fases	Voltaje (V)	Carga instalada (W)	Demanda máxima (W)	Calibre del conductor	Factor de coin.
TCI	1	Iluminación Fachada y cúpulas (24x70W)	2	220	1932	1932	2x12T HHM	1

Ubicación: Iglesia PLANT A ALTA	2	Iluminación columnas, acceso y cúpula interna (4x70+3x150+1x400 W)	2	220	1299	1299	2x12T HHM	1
	3	Iluminarias aleros laterales (15x60W-Incandescente)	1	127	900	900	2x12T HHM	1
	4	Iluminarias aleros laterales (17x60W-Incandescente)	1	127	1020	1020	2x12T HHM	1
<b>Cargas Total instalada</b>		Acometida subterránea		220	5151.5	5151.5	2x12T HHM	

Fuente: (Bernal, 2021)

Tabla 6 Total de Demanda

<b>Carga instalada y Demanda máxima: totales</b>						
<b>Tablero de distribución</b>	<b>Descripciones del tablero de distribución/control</b>	<b>N°de fases</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Carga instalada (W)</b>	<b>Demanda máxima (W)</b>	<b>Corriente nominal (A)</b>
TCI	Sistema iluminación de la fachada	2	220	5151	5151	26.02
TD	Instalaciones interiores	2	220	6100	5320	26.87
Carga total instalada máxima		2	220	11251	10471	52.89

Fuente: (Bernal, 2021)

Tabla 7 Cuadro de cargas para el diseño proyectado:

<b>Cantidad</b>	<b>Lámpara</b>	<b>Potencia</b>	<b>Carga Instalada w</b>	<b>Factor de coincidencia</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corrientes c/u</b>	<b>Corrientes totales (A)</b>
36	Downlight UGR19	25	900	1	220	0.11	4.09
4	Vaya linear	50	200	1	220	0.23	0.91

8	Vaya linear	14.2	113.6	1	220	0.06	0.52
4	Flood led	135	540	1	220	0.61	2.45
12	Vaya linear	53.1	637.2	1	220	0.24	2.90
4	BCS427	9.4	37.6	1	220	0.04	0.17
8	EKIIPSE CW ELLIPTICA L	10	80	1	220	0.05	0.36
2	Vaya linear	20	40	1	220	0.09	0.18
2	BCP462	26.4	52.8	1	220	0.12	0.24
10	Vaya linear	14.6	146	1	220	0.07	0.66
1	Floodlight led	10	10	1	220	0.05	0.05
91		<b>Total</b>	2757.2	1			12.53

Fuente: (Bernal, 2021)

### 3.2. Selección del tipo de luminarias

La selección de elementos de iluminación y sus potencias son proporcionales de acuerdo a lo largo y al ancho de la una superficie a la que se va hacer el baño de luz, en este caso en particular el diseño de la iglesia permite enfatizar bordes, marcos, arcos, pilares, cúpula entre otros, propios de la arquitectura renacentista.

La importancia de considerar el ángulo de inclinación de la luminaria se refleja el baño de luz si el ángulo es muy abierto hay una dispersión de luz, de igual manera si el ángulo de inclinación es muy cerrado se genera un punto de luz y mínima refracción (no hay baño de luz). Para el proyecto se ha escogido el siguiente tipo de luminarias de acuerdo a la necesidad de área, consumo de energía y estética de la misma.

Tabla 8 Tipos y características técnicas de las luminarias

Cantidad	Lámpara	Voltaje (V)	Lúmenes (lm)	Potencia (w)	Color de luz K	IP
36	Downlight UGR19	120-230 AC	2440	25	6500	20
4	Vaya linear	120-230 AC	495	50	3000	67
8	Vaya linear	120-230 AC	453	14.2	RGB	67
4	Flood led	120-230 AC	14100	135	3000	67

12	Vaya linear	120-230 AC	1934	53.1	RGB	67
4	Vaya linear	120-240 AC	595	9.4	4000	66
8	EKIIPSE CW ELLIPTICAL	48 DC	472	10	2936	67
2	Vaya linear	120	453	20	4000	67
2	BCP462	120-220	550	26.4	RGB	67
10	Vaya linear	120 -220	447	14.6	RGB	67
1	Floodlight led	120 -240	800	10	4000	65




Fuente: (Bernal, 2021)

### Luminarias LED utilizadas en el diseño


Los elementos de iluminación son de larga vida útil, promedio de 10 años aproximadamente cuyas marcas de luminarias son reconocidas en el mercado por cumplir estándares y normas internacionales de calidad.

En la siguiente tabla se especifica la ubicación de cada luminaria dentro del diseño, y sus características técnicas se encuentran en el mismo orden de la tabla anterior.

Tabla 9 Tipos y características de luminarias a utilizar.

 <p>(Ledvance, Ledvance, 2021)</p>	<p><b>Downlight UGR19:</b> Estarán ubicadas en los aleros de la parte lateral izquierda y derecha un total de 18 por cada lado y una intensidad de calor a 6500k.</p>
 <p>(Philips, Philips, 2021)</p>	<p><b>Vaya linear:</b> Serán ubicados en los cuatro pilares de ingreso con una temperatura de calor a 3000k.</p>
 <p>(Colorkinetics, Colorkinetics, 2021)</p>	<p><b>Vaya linear:</b> Serán ubicados en los accesos laterales de la iglesia con una temperatura de calor RGB.</p>

 <p>(Ledvance, Ledvance, 2021)</p>	<p><b>Flood led:</b> son proyectores de alta intensidad que serán ubicados en el pasillo de acceso con refracción hacia el techo evitando el deslumbramiento, tienen temperatura de calor a 3000k.</p>
 <p>(Colorkinetics, Colorkinetics, 2021)</p>	<p><b>Vaya linear:</b> este tipo de iluminación se colocará en los balcones izquierdo y derecho con proyección hacia la cúpula y baño de pared.</p>
 <p>(Philips, Philips, 2021)</p>	<p><b>Vaya linear:</b> son LEDs de alto brillo que serán colocadas en las cuatro columnillas adosadas de la parte superior.</p>
 <p>(Griven, 2021)</p>	<p><b>EKIIPSE CW ELLIPTICAL :</b> es una luminaria de aplique para marcos, en este caso se utilizará en todas las ventanas frontales de la capilla superior y en dos ventanas laterales con arcos ciegos.</p>
	<p><b>Vaya linear:</b> estas serán colocadas en las dos columnas grandes superiores.</p>
 <p>(Philips, Philips, 2021)</p>	<p><b>BCP462:</b> serán ubicadas en las esquinas del marco superior medio de la capilla.</p>
 <p>(Colorkinetics, Colorkinetics, 2021)</p>	<p><b>Vaya linear:</b> serán colocadas en la parte inferior y superior la cúpula, se ubicara 10 barras lineales de este tipo.</p>

 <p>(Ledvance, lichtbasis, 2021)</p>	<p>Floodlight led: es uno frontal sobre la cúpula que iluminará la cruz de la iglesia</p>
---	---

Fuente: (Bernal, 2021)

### 3.3. Distribución luminosa

#### General - Diferenciada

La iluminación general uniforme figura un criterio de iluminación común. En la iluminación general presenta luminarias de haz extensivo como downlight y estructuras luminosas. Se considera que se puede obtener una iluminación uniforme a través de una iluminación indirecta. (Evolux, 2021)

Es habitual que una iluminación decorativa también forme parte de la iluminación general al objeto de una disposición espacial (dispersión de la luz en el espacio) de objetos iluminados. Con frecuencia la luz difusa en las áreas acentuadas resulta ser suficiente para la iluminación de un entorno. En la iluminación decorativa (acento) se sugiere luminarias con luz dirigida y con haz fuerte. Para estos casos se utiliza proyectores dirigibles.

#### Directa – indirecta

En la iluminación directa admite por igual a la luz difusa como la dirigida, tanto la iluminación general como la acentuada. La luz directa da la posibilidad de planificar la iluminación que permite la repartición diferenciada de la luz.

La iluminación indirecta en general es aquella iluminación difusa (expansiva), su haz de luz es muy uniforme y suave, se abre alrededor de toda la superficie que no lo limita.

#### Extensiva – intensiva

La distribución de luminosidad extensiva o intensiva, sus conceptos están relacionados con la iluminación general o diferenciada respectivamente, el tipo de luminarias que tengan un ángulo menor a 20° de irradiación se denominan Spot, y las que son mayores a ese ángulo se denomina Food. El ángulo de apantallamiento de los Downlights da la información sobre la apertura de la distribución luminosa.

#### Simétrica – Asimétrica

La iluminación simétrica ilumina uniformemente, como por ejemplo la de downlight que da iluminación general. Las luminarias asimétricas tienen distribución luminosa uniforme en superficies laterales, típicamente utilizadas para baños de pared y techos así también las luminarias rotacionales permiten dos curvas de distribución de intensidad luminosa.

### **Horizontal – Vertical**

La iluminación horizontal va dirigida a favor de una luz funcional y útil, frecuentemente utilizados para lugares de trabajo, su planificación de iluminación es uniforme y se ajusta a tareas visuales con orientación horizontal.

En la iluminación vertical se refiere a todo sobre la luz difusa y reflejada desde superficies horizontales que están iluminadas. La iluminación vertical va enfocada al resalte objetos como estantes, cuadros o pinturas entre otros. También este tipo de iluminación permite resaltar estructuras arquitectónicas a través de una determinada iluminación de pared, así como la modelación y acentuación de objetos en el espacio.

### **3.4. Simulación de iluminación en DIALux de la fachada exterior de la iglesia.**

Ilustración del estado actual de la iluminación frontal:



Fig. 5 Fachada Frontal actual

Fuente: (Bernal, 2021)

El estado actual de iluminación presenta déficit debido a que las luminarias disminuyen su intensidad luminosa con el paso del tiempo hasta llegar a su total obsolescencia como se muestra en su representación plasmada en la ilustración 5 en Dialux las luminarias del pasillo inferior se encuentran dos dañadas y la otra no emite la suficiente iluminación.

En la capilla de la parte superior hay tres luminarias que están muy centrada en un solo punto creando un exceso de luz y ayuda a resaltar la forma arquitectónica.

Si se ubica en la parte superior de la capilla se puede observar que no existe iluminación uniforme además de ello presenta una luminaria sin funcionamiento, como también se observa la iluminación en su cúpula es orientada solo hacia los lados laterales dejando un tramo extenso sin iluminación.

Ilustración de colores falsos de la fachada frontal actual:

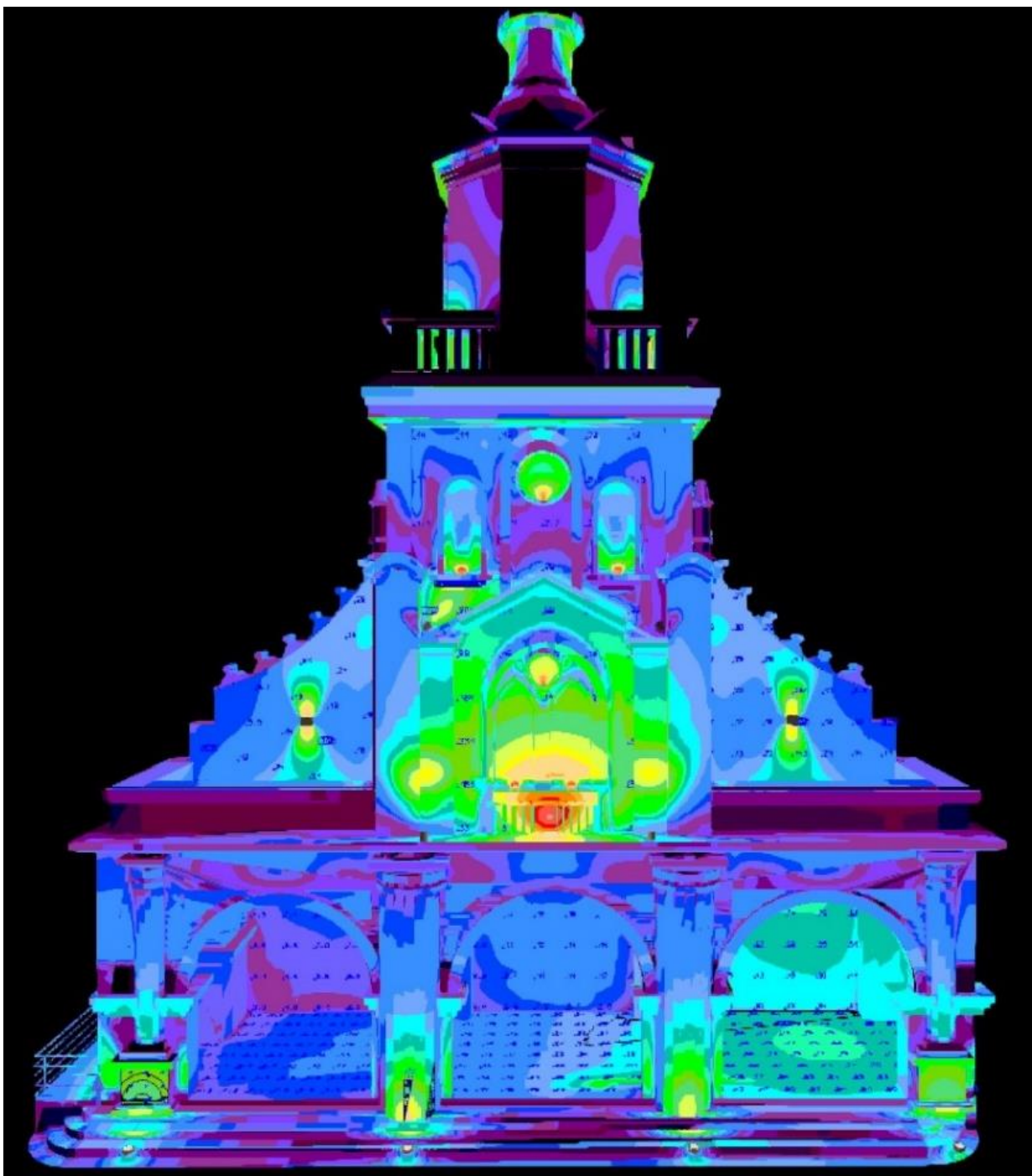


Fig. 6 Simulación en colores falsos de radiación lumínica

Fuente: (Bernal, 2021)

Con esta representación demostrada en la ilustración 6. se conoce de manera técnica el nivel de luminosidad de los objetos, en este caso el baños de luz de pared muestra un déficit de proyección de luz, en el cual no se ha tomado en cuenta ángulos de apertura para las luminarias que abarque mejor las áreas de iluminación sin generar puntos de exceso, como por ejemplo la luminaria central de la capilla genera alrededor de 5000 luxes en esa área, la correcta iluminación para luz decorativa está dentro del rango de 70 a 100 lux de una manera uniforme, en la siguiente ilustración se muestra el rango de lux que representa cada color simulado.



Fig. 7 Rango de nivel de iluminación en colores falsos

Fuente: (Bernal, 2021)

El rango de nivel de iluminación en luxes que muestra la ilustración 7. son representativos del software DIALux en el que se está representado el análisis actual del estado de iluminación, como también el diseño de iluminación proyectado que se analiza en base a los colores representados, en la simulación de colores falso.

Ilustración del estado actual de la iluminación lateral:



Fig. 8. Fachada lateral Actual

Fuente: (Bernal, 2021)

En la fachada lateral que se observa en la ilustración 8. se tiene un buen diseño de iluminación, pero con luminarias de bajo rendimiento que ya están próximas a cumplir su vida útil, en la parte inferior actualmente solo está iluminado por dos lámparas que abarcan el corredor derecho de la iglesia lo cual representa una notable falta de iluminación.

Ilustración de colores falsos de la fachada lateral actual:

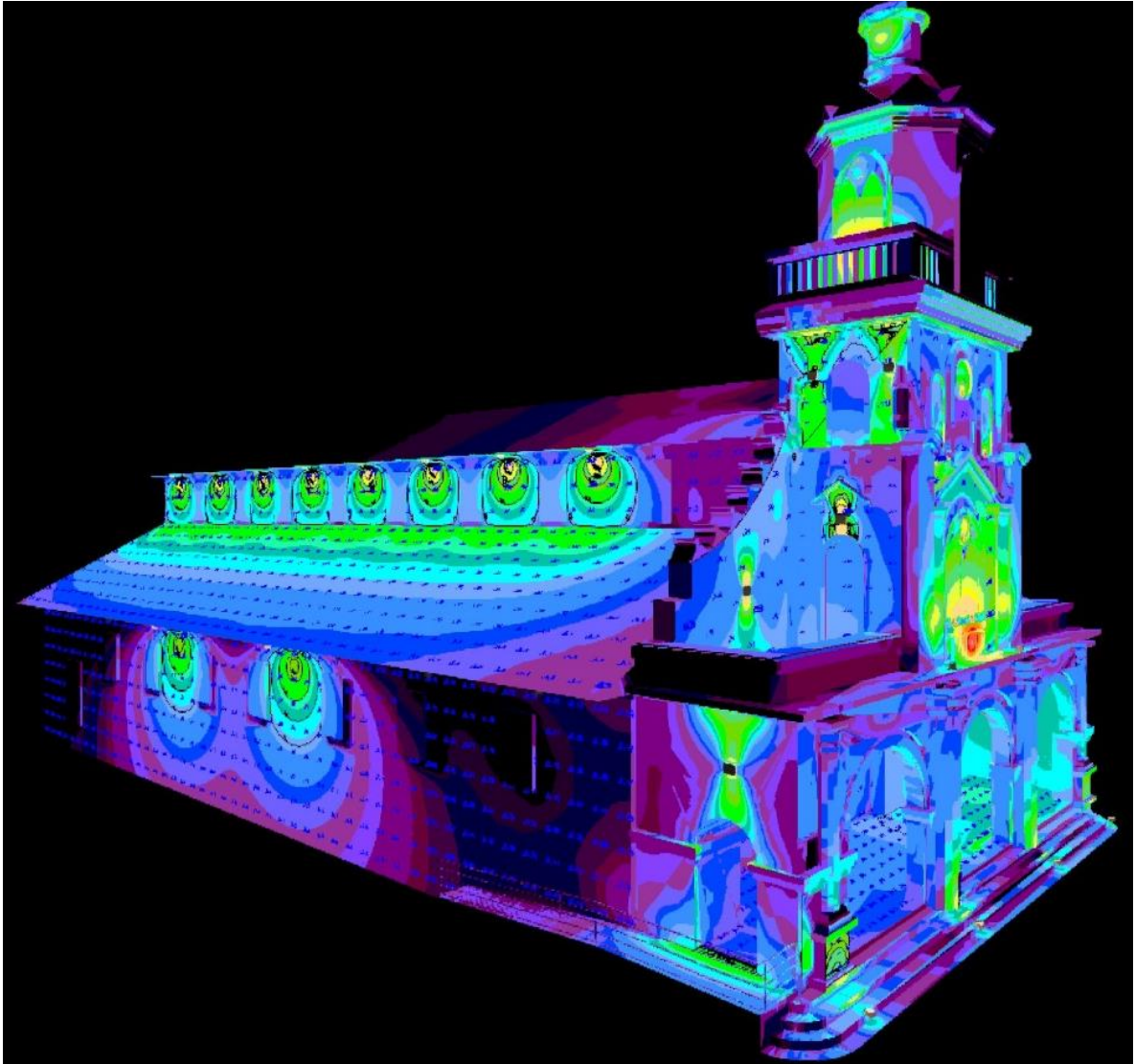


Fig. 9 Simulación en colores falsos de radiación lumínica fachada lateral

Fuente: (Bernal, 2021)

Haciendo un análisis de la ilustración 9., el diseño lumínico actual de la parte lateral que conforma los aleros superiores del techo presenta una buena iluminación que está dentro del rango de ( $lx/m^2$ ) que se tomará en cuenta en el rediseño, así también como en la parte superior del segundo alero existe una buena iluminación de la parte inferior que tiene un mismo estilo, pero el hecho de que existe daños en las demás luminarias no se representa de la misma manera y se muestra como un déficit de iluminación con solo dos luminarias.

Ilustración del Proyecto de rediseño de la fachada frontal:



Fig. 10 Fachada frontal

Fuente: (Iluminar F. , 2020)

En la vista frontal analizada en la ilustración 10. el diseño arquitectónico se ve resaltado por la utilización de luminarias asimétricas que hacen que el haz de luz no se disperse hacia los lados,

provocando que no se pueda apreciar el contraste lumínico de los detalles o bordes de la estructura.

Ilustración de colores falsos en Proyecto de rediseño de la fachada frontal:

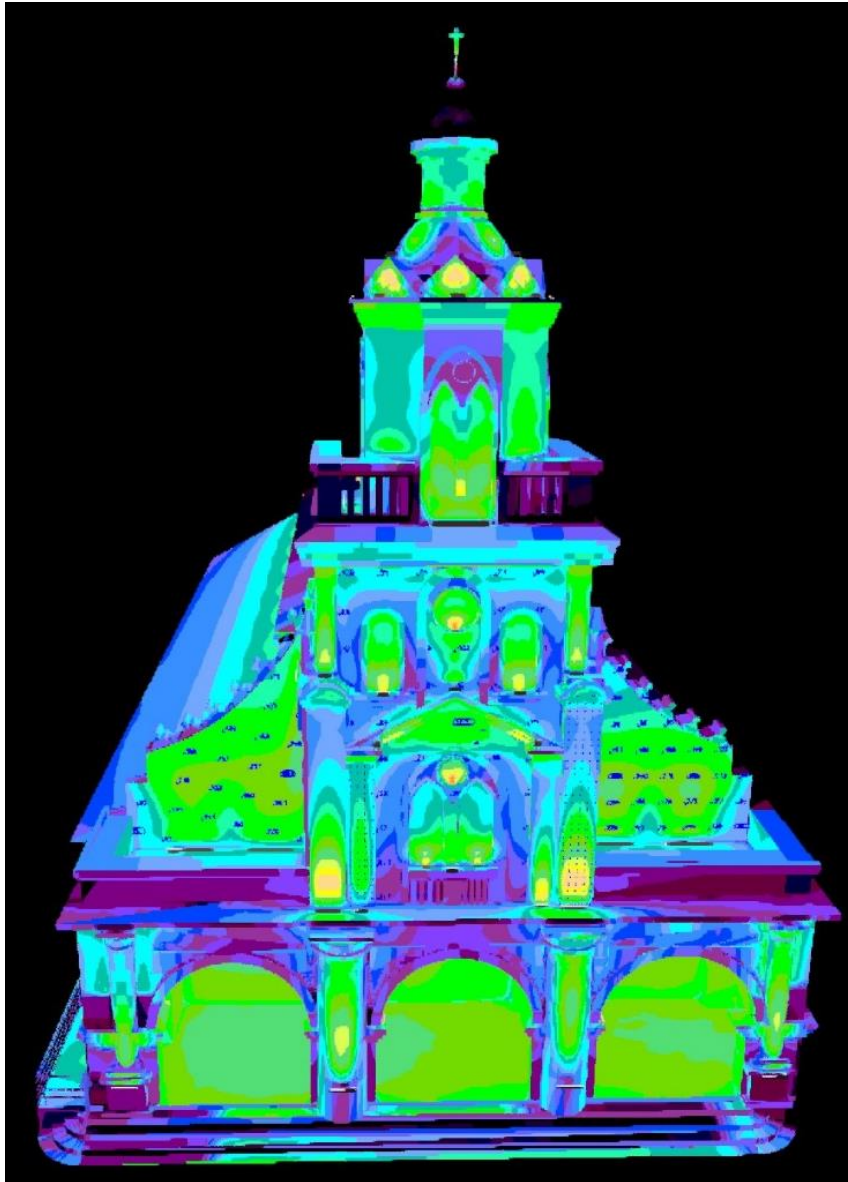


Fig. 11. Simulación en colores falsos de luminosidad, fachada frontal

Fuente: (Bernal, 2021)

El nuevo rediseño propone una mayor iluminación con niveles de 100 a 200 luxes/m<sup>2</sup> según se observa en la ilustración 11., con referencia a la ilustración de rango de colores falso el diseño presenta mayor iluminación y de manera más uniforme, evitando crear puntos focalizados que aumente la irradiación lumínica en un solo punto sin dispersión de luz uniforme.

Ilustración del Proyecto de rediseño de la fachada lateral:



Fig. 12 Fachada Lateral

Fuente: (Iluminar F. , 2020)

El rediseño de la iluminación plasmada en la ilustración 12 los aleros del techo son de tipo simétrico donde la difusión de luz se esparce en todas las direcciones, su función es dar un baño de luz a la pared e iluminar los corredores laterales que están bajo el primer alero del techo.

Ilustración de colores falsos en Proyecto de rediseño de la fachada lateral:

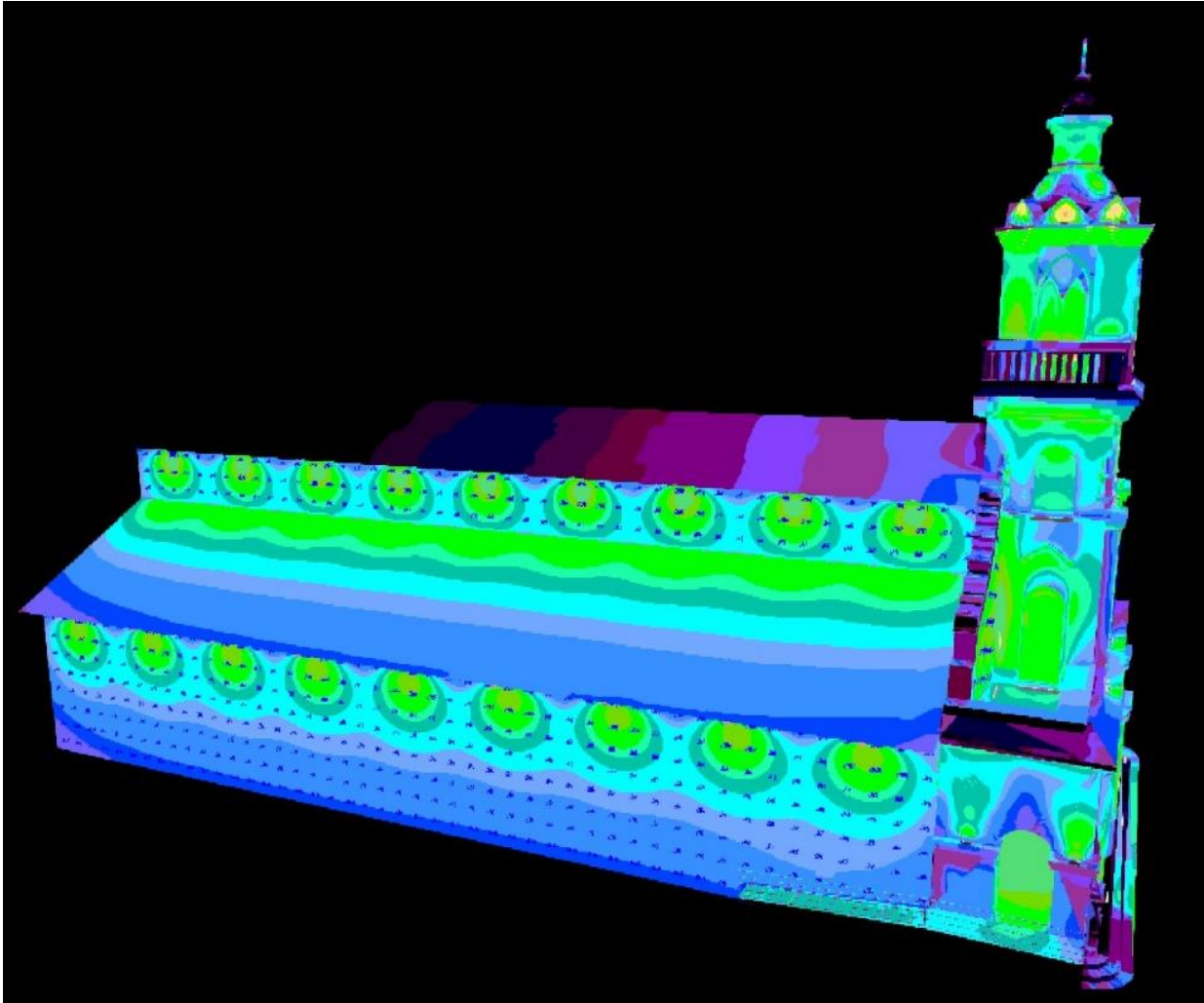


Fig. 13 Simulación en colores falsos de luminosidad, fachada lateral

Fuente: (Bernal, 2021)

El rediseño lateral plasmada en la ilustración 13, propone mejorar la iluminación de los aleros superior e inferior colocando una mayor cantidad de luminarias, pero considerando similares ubicaciones del estado actual, como se observa presenta también una uniformidad en la iluminación que está en un rango de 70 a 100 luxes entre cada luminaria. La irradiación que se presenta en el primer techo sería similar en el corredor derecho como izquierdo.

Ilustración del Proyecto de rediseño de la parte superior:

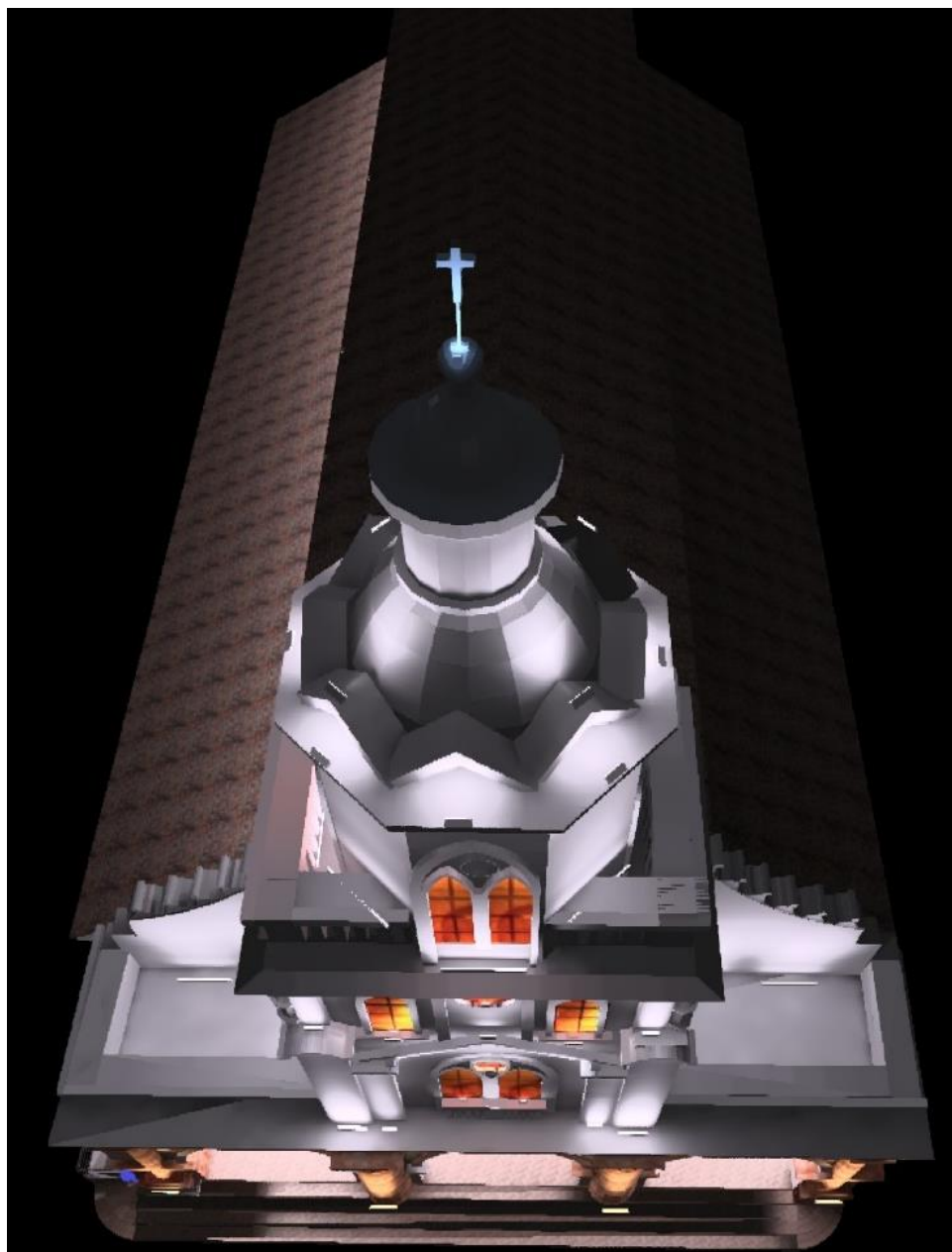


Fig. 14 Fachada superior

Fuente: (Iluminar F. , 2020)

Este tipo de vista como se representa en la ilustración 14. pretende ser apreciada desde los puntos más altos o los diferentes miradores que tiene el sector y que rodean a la iglesia.

## CAPÍTULO 4

### 4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### 4.1. Estimación del ángulo de inclinación según las coordenadas geográficas

Con relación al movimiento rotacional de la tierra, es indispensable establecer un punto de referencia que abarque a los dos puntos, el que emite la radiación en este caso el sol y la tierra siendo el punto irradiado. La tierra se toma como eje de referencia da para las denominadas coordenadas geográficas. Un sistema de coordenadas solares puede determinar cualquier punto de ubicación del sol con respecto a la tierra.

Al utilizar las coordenadas geográficas se puede ubicar un punto de la superficie con exactitud, la ubicación se expresa en grados sexagesimales, el punto de referencia es la latitud cero o línea ecuatorial y la longitud cero o también conocido como Meridiano de Greenwich.

La declinación es el ángulo que pasa por la línea ecuatorial de la tierra y es perpendicular al eje polar y a su vez es la trayectoria que tiene el sol.



Fig. 15 Eje polar y plano de la eclíptica

Fuente: (Wikipedia, 2021)

La inclinación óptima viene dada de la siguiente ecuación:

$$\textit{inclinacion Opt} = 3.7 + 0.69 * \textit{latitud} \quad (4)$$

$$\textit{inclinacion Opt} = 3.7 + 0.69 * -2.922 \quad (5)$$

$$\textit{inclinacion Opt} = -12.82^\circ \quad (6)$$

Los paneles solares deben ir orientados entre 10° a 15° grados hacia el sur de forma vertical, así se aprovecha de mejor manera la radiación solar, como bien se conoce la radiación solar inicia durante la mañana por el Este y en el transcurso del día hasta la puesta de sol se orienta al Oeste. Considerando que la radiación en la mañana es mayor que en la tarde y no se produce sombras, pero excepcionando grandes nubes condensadas o una atmósfera nublado, en cambio en la tarde por lo general hay una mayor formación de nubes que bloquean la radiación.

La mayor radiación solar se da en la zona ecuatorial debido a que en ese punto o eje de referencia como se muestra en la ilustración 15. las horas que mayormente se puede aprovechar la energía solar es desde las 10:00h hasta 16:00h horas claves que se utilizan para generación de energía fotovoltaica.

#### **4.2. Selección del panel fotovoltaico**

Los paneles fotovoltaicos seleccionados para este proyecto serán de tipo policristalinos debido a su eficiencia y costos, en comparación a los monocristalinos que son más costosos y su eficiencia es casi similar.

Se detalla a continuación algunos de los paneles más eficientes en torno a las necesidades de suplir la carga y demanda instalada como, por ejemplo:

##### **Panel solar 280 W Policristalino**

En la ilustración 16. se muestran las medidas del panel de 280W Policristalino las cuales son 1650 x 992x 35 mm con un peso de 18.6Kg, y tiene un costo aproximado a los \$155.93.

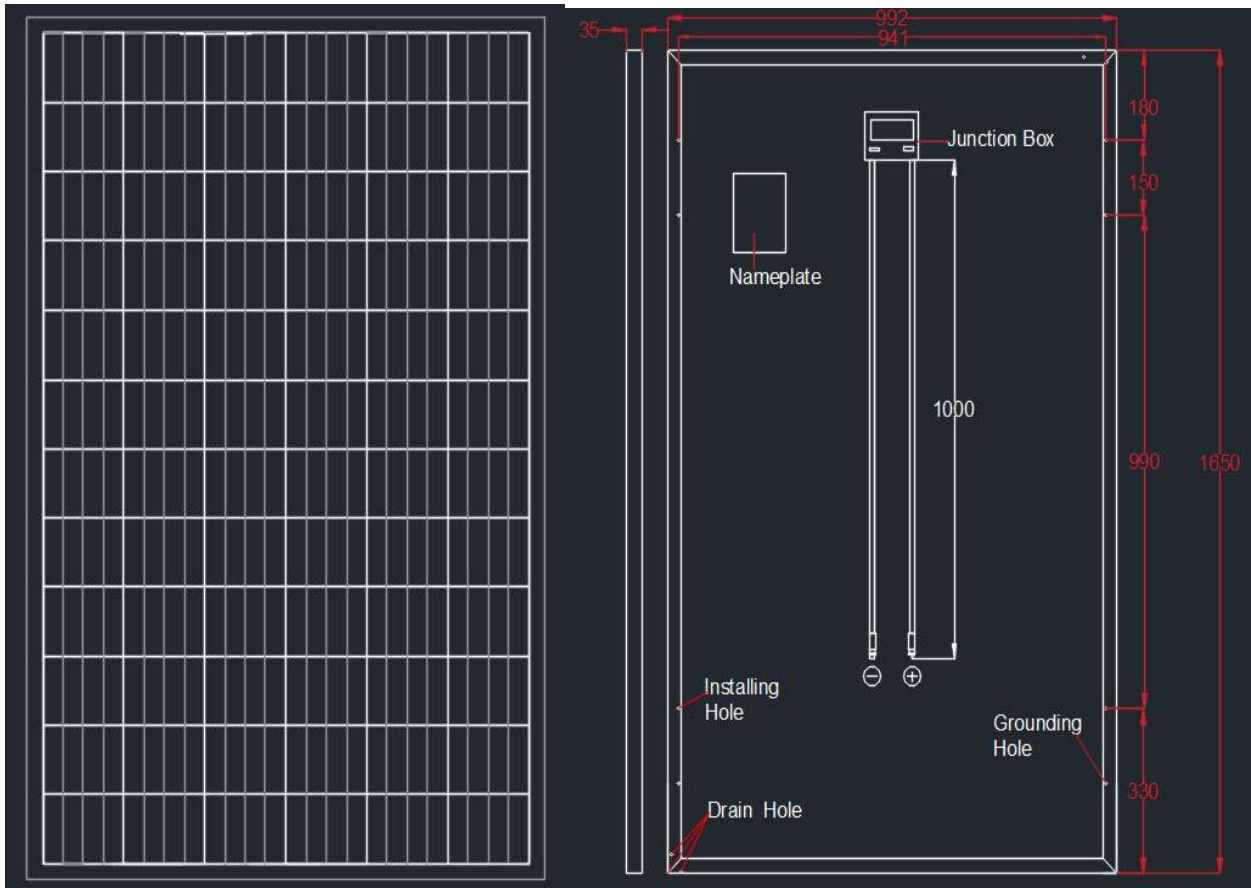


Fig. 16 Panel y sus dimensiones

Fuente: (Bernal, 2021)

Tabla 10. Datos técnicos panel 280W:

Tipo de módulo	Trina
Máxima potencia	280 W
Voltaje de circuito abierto ( Voc)	38.7 V
Corriente de corto circuito (Isc)	9.34 A
Máxima potencia de corriente	8.92 A
Eficiencia del modulo	17.1%
Fusible en serie máximo	15 A

Voltaje máximo del sistema	1000v Dc
Temperatura de operación	-40c° - + 85 c°

Fuente: (Bernal, 2021)

Grafica de curvas en relación a la potencia del módulo de 280 W

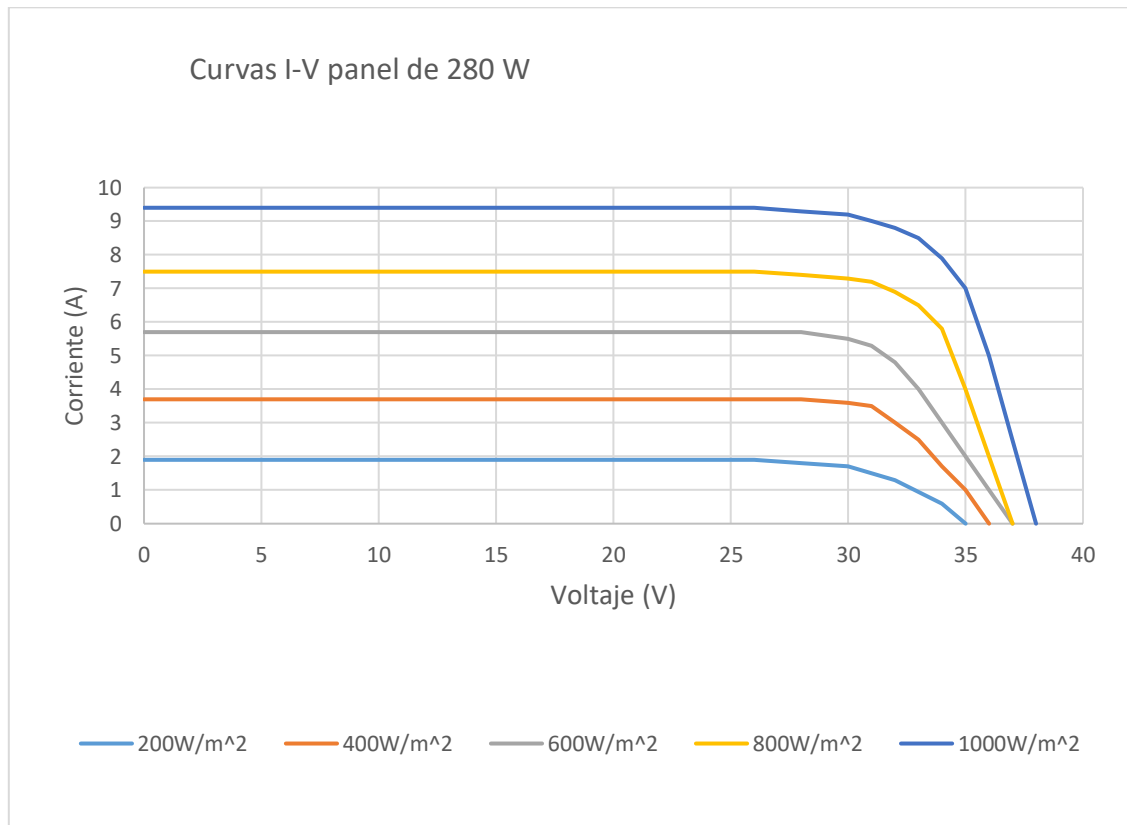


Fig. 17 Curvas del módulo 280 W I-V

Fuente: (Bernal, 2021)

Las curvas de la ilustración 17 representan los niveles de voltaje y corriente con referencia a la radiación presente, que va desde el rango más bajo de  $200\text{W}/\text{m}^2$  hasta la máxima potencia que puede absorber de  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Es importante saber que este tipo de panel mantiene sus niveles de voltaje aproximado de 35V a 38V en circuito abierto.

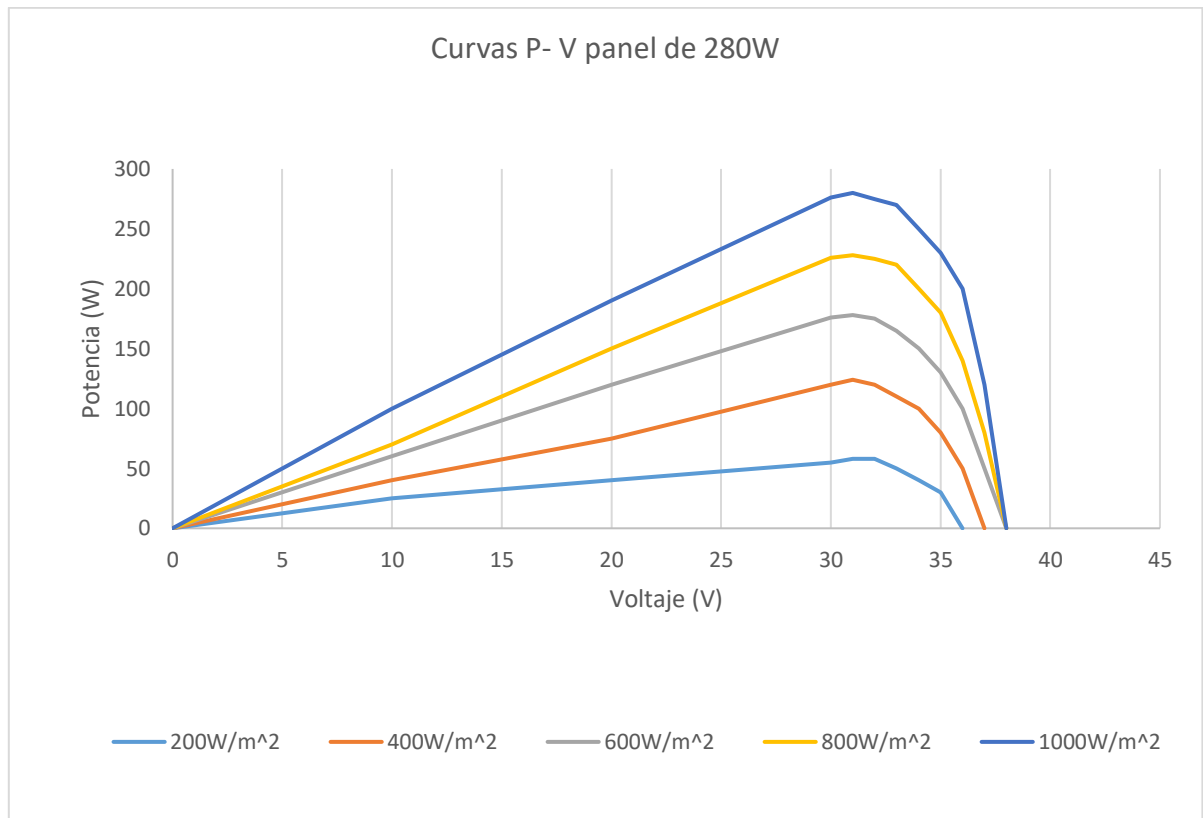


Fig. 18 Curvas del módulo 280 W P-V

Fuente: (Bernal, 2021)

El tipo de curva en relación de potencia- voltaje representada en la ilustración 18, se puede observar que el nivel de voltaje se mantiene con menor potencia y su rango esta entre los 36V-38V voltios.

### Panel solar 340 W 24V Policristalino ERA

En la ilustración 19, se describe las medidas del panel 340W Policristalino las cuales son 1956 x 992x 40 mm con un peso de 21kg, un costo aproximado a los \$178.53.

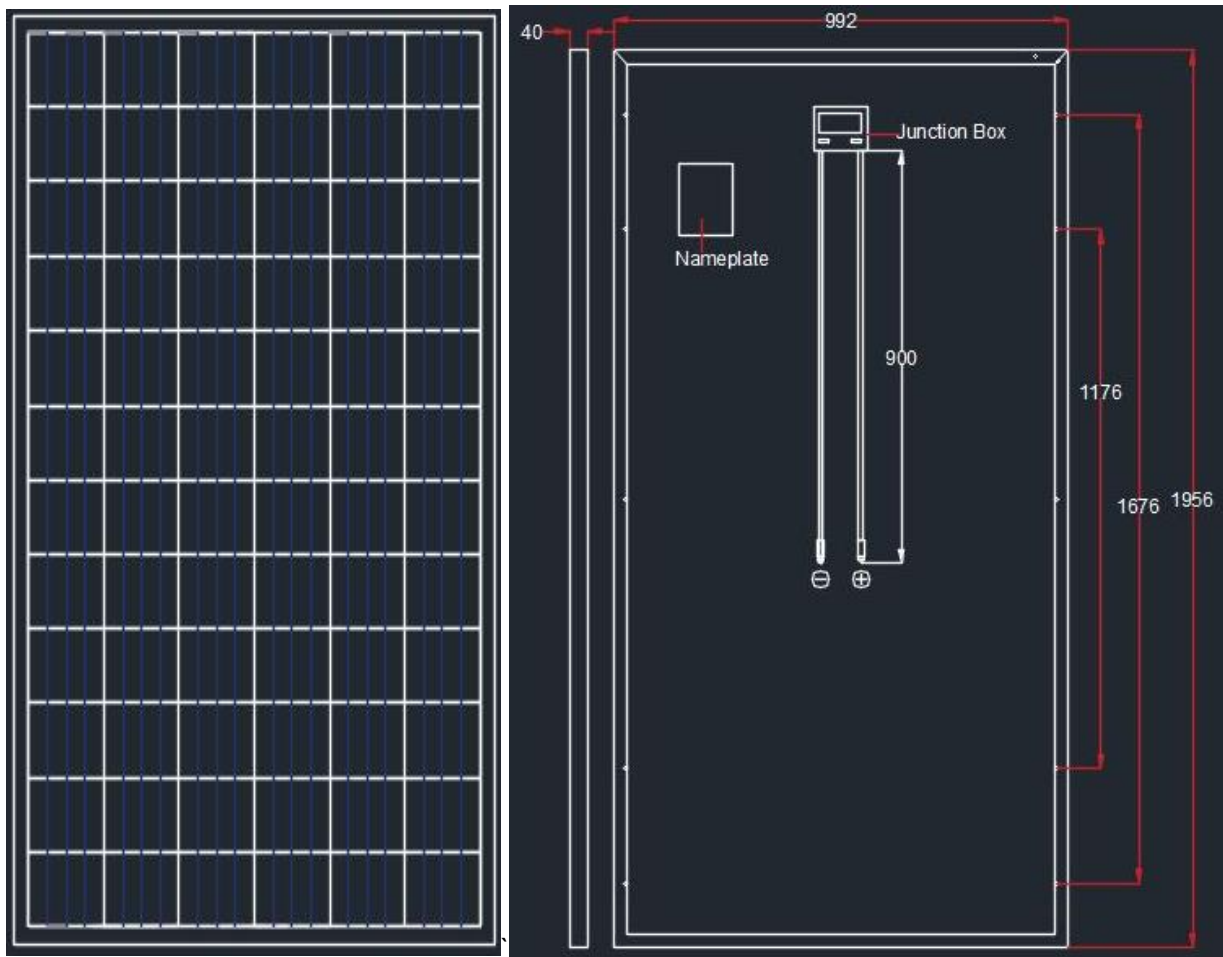


Fig. 19 Panel y dimensiones

Fuente: (Bernal, 2021)

Tabla 11. Datos técnicos panel 340W

Tipo de módulo	ESPMC	340 w
Máxima potencia		340W
Voltaje de circuito abierto ( Voc)		46.4V
Corriente de corto circuito (Isc)		9.45 A
Máxima potencia de corriente		8.84 A
Eficiencia del modulo		17.5%
Fusible en serie máximo		15 A

Voltaje máximo del sistema	1000v Dc
Temperatura de operación	-40c° - + 85 c°

Fuente: (Bernal, 2021)

### Grafica de curvas en relación a la potencia del módulo

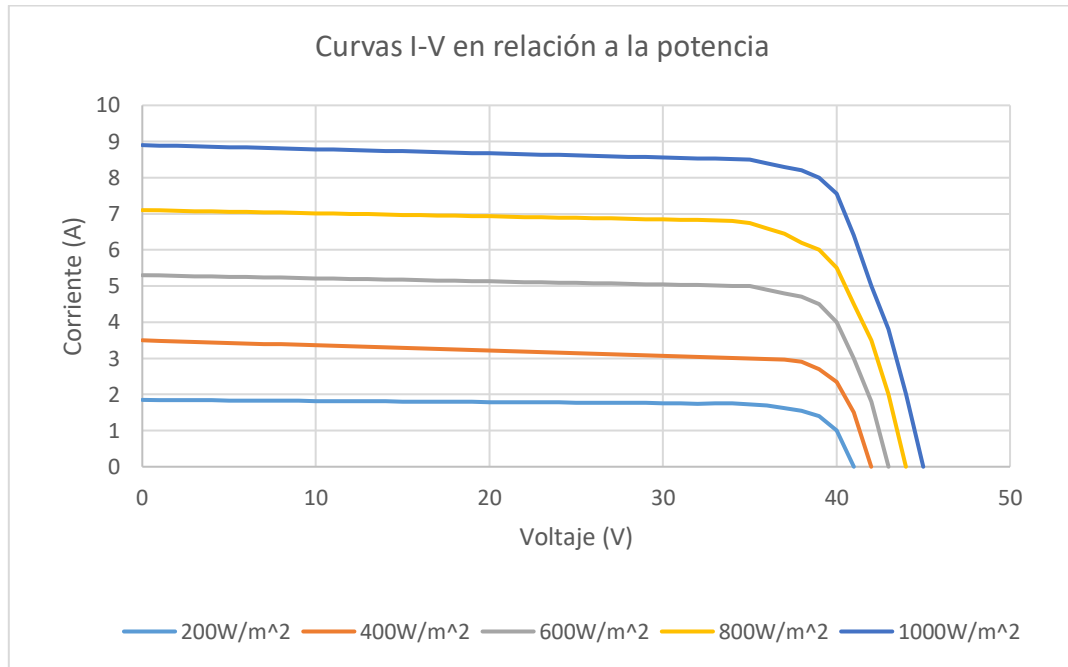


Fig. 20 Curvas I-V del módulo de 340w

Fuente: (Bernal, 2021)

En la ilustración 20, se aprecia las curvas de voltaje y corriente en relación a la potencia, teniendo como resultado, a mayor corriente sube la potencia, el voltaje no varía entre uno y tres voltios (es estable).

Grafica de curvas en relación a la temperatura del módulo:

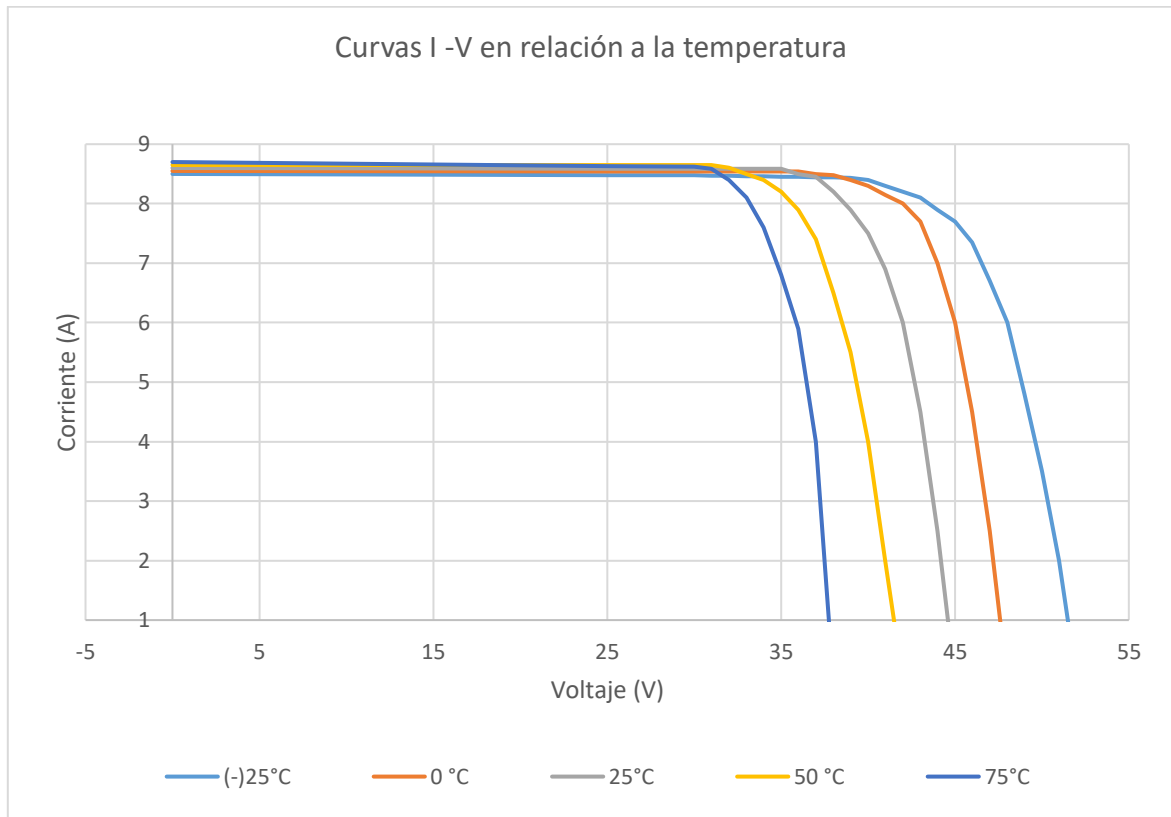


Fig. 21 Curvas I – V en relación a la temperatura

Fuente: (Bernal, 2021)

En la ilustración 21, se representa las curvas de corriente y voltaje en relación a la temperatura, con como se observa la corriente es estable pero el voltaje varía, a menor temperatura el voltaje aumenta significativamente entre uno y diez voltios.

### Panel solar 405 w Policristalino Hiku

Las medidas son 2108 x 1048 x 40 mm con un peso de 25kg un costo aproximado \$237.90

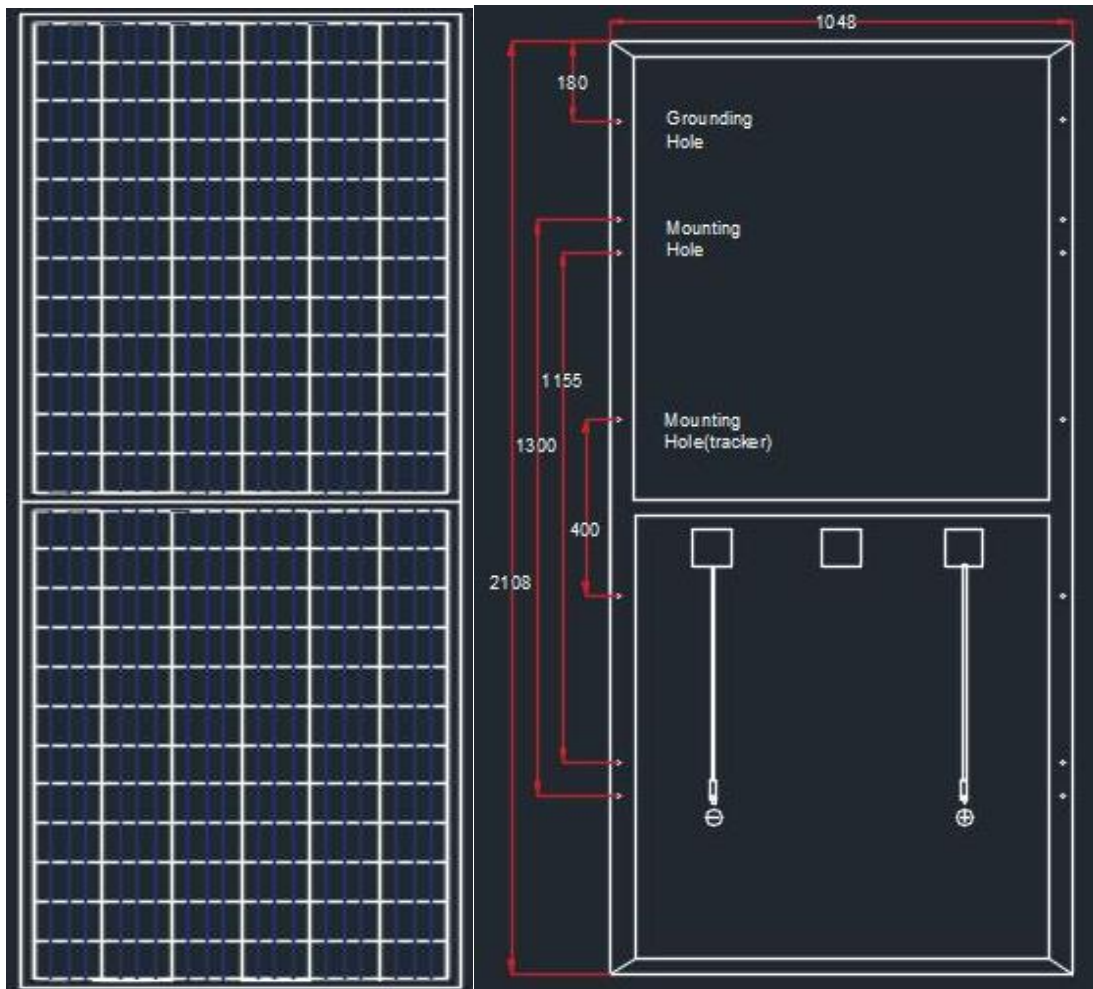


Fig. 22 Panel y dimensiones

Fuente: (Bernal, 2021)

Tabla 12. Datos técnicos panel 405W

Tipo de módulo	CS3W
Máxima potencia	405 W
Voltaje de circuito abierto ( Voc)	47.4 V
Corriente de corto circuito (Isc)	10.98 A
Máxima potencia de corriente	10.42 A
Eficiencia del modulo	18.33%

Fusible en serie Máximo	20 A
Voltaje máximo del sistema	1500v Dc
Temperatura de operación	-40c° - + 85 c°

Fuente: (Bernal, 2021)

Características constantes de temperaturas del módulo (25 ° C) y diferentes niveles de irradiancia, y diferentes temperaturas del módulo y constante irradiancia del módulo (1.000 W / m<sup>2</sup>).

Grafica de curvas en relación a la potencia del módulo de 405W:

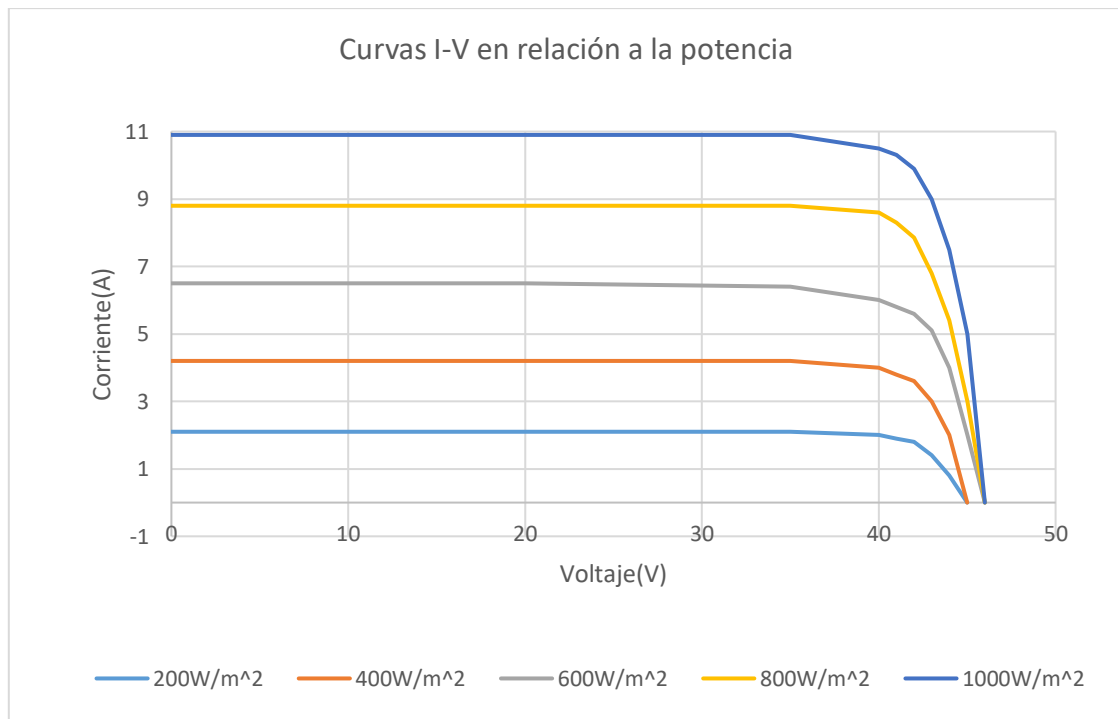


Fig. 23 Curvas I-V en relación a la Potencia

Fuente: (Bernal, 2021)

Al igual que en las anteriores ilustraciones de las curvas de la corriente y voltaje en relación a la potencia, muestra un incremento en la potencia mientras sube la corriente y el voltaje se mantiene estables con una variación de uno a tres voltios.

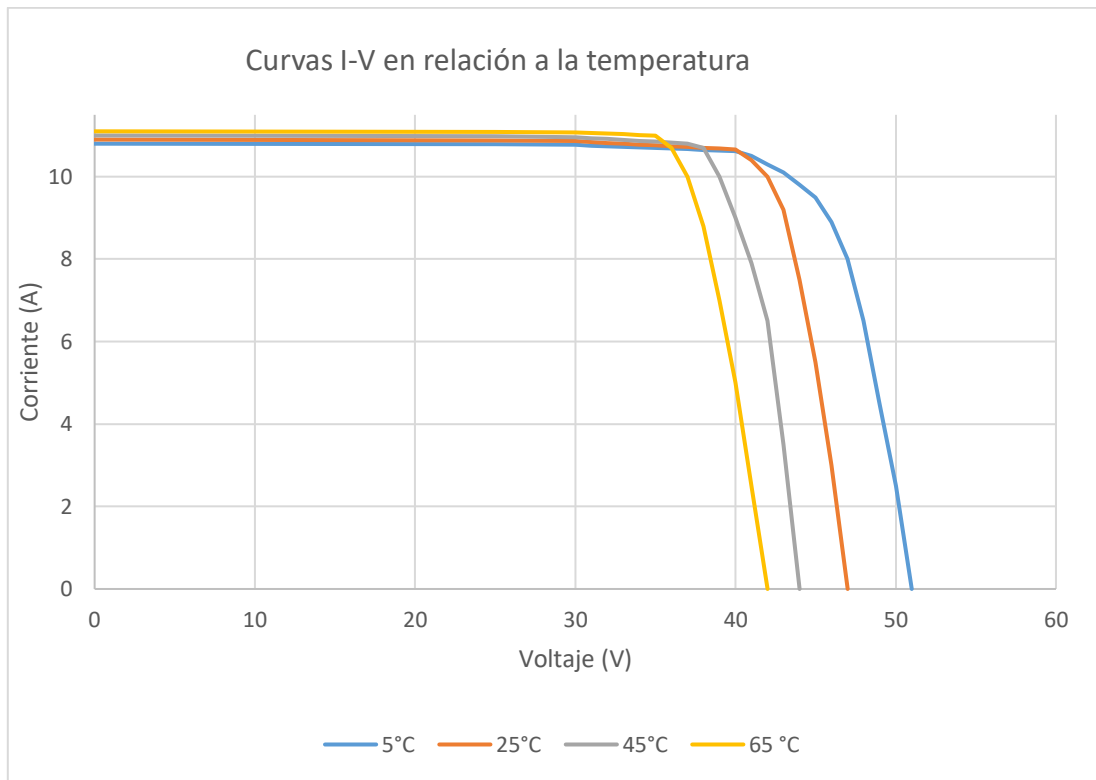


Fig. 24 Curvas I – V en relación a la temperatura

Fuente: (Bernal, 2021)

La grafica 24 expresa los voltajes y corrientes con cada nivel de potencia, así también se observa que los voltajes no varían en más de 1 voltio con potencias que supera 4 veces más a la inicial, con esto se puede decir que su voltaje es estable.

### Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos.

Terminología y fórmulas utilizadas para el cálculo de paneles solares.

HSP: es el número de horas en el día en el cual se tiene una irradiancia.

$$HSP = \frac{I \text{ por dia1}}{1000 (W/m^2)} \quad (7)$$

Con los datos obtenidos en el capítulo 1 el valor de la irradiancia en la parroquia “Turi” es de 14.77 Mj/ m2 día, este valor aplicando una regla de tres con respecto a que 1MJ /m2 = 277.78 wh/m2, da un valor de 4102.81wh/m2 de irradiación.

Aplicando la formula HSP

$$HSP = 4102.81/1000 \text{ (Watt/Mts } ^2\text{)} \quad (8)$$

$$HSP = 4.10$$

Fórmulas utilizadas para los cálculos en la tabla 14.:

$C_{AL}$  = Carga de alumbrado

$$\text{Carga} = N^{\circ}lam * P \quad (9)$$

$$KWh/dia = \frac{C_{AL} * h}{1000} \quad (10)$$

Tabla 13. Potencia de consumo hora/día

Potencia hora /día					
Cantidad	Aparato (Lámpara)	Potencia por aparato W	Horas (18:00- 0:00)	Demanda máxima W	Consumo diario. Wh/dia
36	Downlight UGR19	25	6	900	5400
4	Vaya linear	50	6	200	1200
8	Vaya linear	14.2	6	113.6	681.6
4	Flood led	135	6	540	3240
12	Vaya linear	53.1	6	637.2	3823.2
4	BCS427	9.4	6	37.6	225.6
8	EKIIPSE CW ELLIPTICAL	10	6	80	480
2	Vaya linear	20	6	40	240

2	BCP462	26.4	6	52.8	316.8
10	Vaya linear	14.6	6	146	876
1	Floodlight led	10	6	10	60
91			Total	2757.2	16543.2

Fuente: (Bernal, 2021)

Tabla 14. Datos a utilizar para dimensionar el sistema fotovoltaico

Nombre del dato	valor	unidad		
Voltaje de salida	48	V		
Días de autonomía	1	día		
Valor máximo de descarga	70	%	0.7	
HSP	4.1			
Paneles	340	W		
Factor de seguridad	25	%	0.25	
Baterías	12	V	200	A/h

Fuente: (Bernal, 2021)

Con los datos de la tabla 15 se obtiene los siguientes cálculos:

### Calculo de la eficiencia de un panel solar

Si un panel solar supera el 20 % quiere decir que su rendimiento es al 100% si menor al 20% y está dentro del rango de 11 al 15% es aceptable.

Para calcular la eficiencia de un panel solar se utiliza la siguiente formula

n= rendimiento en %

A= Área en m<sup>2</sup>

E= irradiancia solar en W/m<sup>2</sup>

Pmax = potencia máxima de operación del panel

$$\eta = \frac{P_{max}}{A * E} * 100 \quad (11)$$

Se determina el área del panel en m<sup>2</sup>, expuestos en la ilustración 19 que da un valor de 992mm x 1956mm este valor multiplicado y transformado a m<sup>2</sup> da un valor de 1.940m<sup>2</sup>

$$\eta = \frac{340W}{1.940m^2 * \frac{1000W}{m^2}} * 100 \quad (12)$$

$$\eta = 17.52 \%$$

Con este cálculo se determinó que el panel solar tiene una eficiencia de 17.5 % tal como muestra la tabla de los datos técnicos del panel de 340w.

#### Calculo del número de paneles.

Planteando paneles de 24V y 340W se obtiene una corriente 14.17 A

N<sub>pn</sub>= potencia de los paneles.

Cd= consumo diario.

HSP = hora solar pico, se analiza el mes con menos irradiación solar que es julio con 3.68.

$$N_{pn} = \frac{Cd}{HSP} \quad (13)$$

$$N_{pn} = \frac{16543.2W}{3.68} \quad (14)$$

$$N_{pn} = 4495.43W \quad (15)$$

La potencia necesaria que debe tener el sistema de paneles está dada en ecuación 15. Esta potencia se multiplica por un margen de seguridad en el cual se tomará un valor del 25% que de esta manera dará los siguientes resultados.

$$N_{pn} = 4495.43W * (1.25) \quad (16)$$

$$N_{pn} = 5619.29W \quad (17)$$

La potencia necesaria de los paneles con un margen de seguridad del 25 % está dada en la ecuación 17, este valor se divide para la potencia de los paneles a utilizar en este caso son los paneles policristalinos de 340W y se obtiene el número de paneles.

Pf = paneles fotovoltaicos

$$Pf = \frac{5619.29W}{340W} \quad (18)$$

$$Pf = 16.57 \quad (19)$$

$$Pf = 17$$

Para un día de autonomía se necesita instalar una cantidad de 17 paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda de energía, pero se considera agregar un panel más dando un total de 18 paneles para poder realizar la combinación de conexión en el controlador de carga y equilibrar la potencia de salida.

### **Selección del controlador de carga**

En la determinación del tipo de controlador de carga se analiza voltajes de ingreso y voltajes de salida, el tipo de controlador puede ser PWM o MPPT, para este caso se ha escogido el controlador tipo MPPT mostrado en la ilustración 3.23, se considera los siguientes parámetros para su selección:

Voltaje de salida del sistema = 48V

Numero de Módulos = 18

Tipo de controlador = MPPT ingreso (150V 50A) salida (48V 60A)

Potencia del Panel = 340W

Corriente máxima del panel = 8.84A

Voltaje en circuito abierto = 46.4V

Con los datos anteriores se obtiene la combinación y la cantidad de controladores de carga.

Primer controlador:

Paneles en serie: (3x46.4V) = 139.2V < 150V

Paneles en paralelo:(3x 8.84A) = 26.52A < 50A

Segundo controlador

Paneles en serie:  $(3 \times 46.4V) = 139.2V < 150V$

Paneles en paralelo:  $(3 \times 8.84A) = 26.52A < 50A$

El sistema se debe conectar a dos controladores de carga para cumplir con los parámetros de protección de los equipos. Los controladores de carga por motivos de sobredimensionamiento en la corriente se pueden dividir en diferentes arreglos con los paneles solares.

Se ha determinado utilizar dos controladores de carga, cada uno conectado a tres paneles en serie y tres en paralelo como se muestra en la ilustración 25.

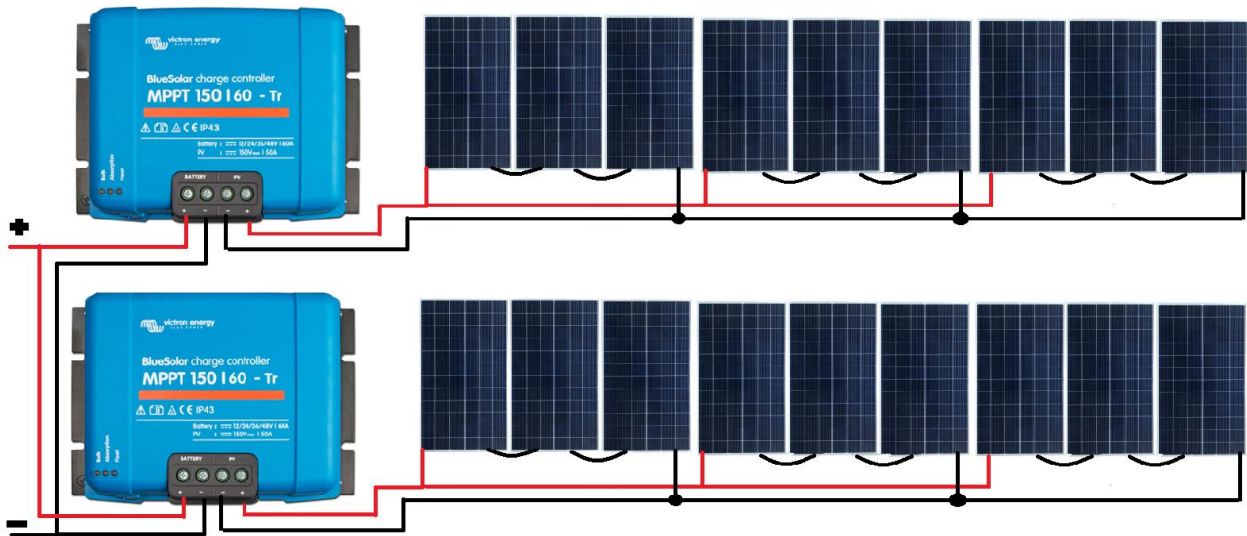


Fig. 25 Diagrama de conexión de los paneles al controlador de carga

Fuente: (Bernal, 2021)

Los controladores tendrían un voltaje de ingreso emitido por los cinco paneles 120V voltios promedio y corriente de 14.5 A. Este tipo de controladores soporta hasta 150V de ingreso, los voltajes de conversión puedan hacerlo para 12V- 24V - 48V.

### Cálculo del consumo máximo de amperios hora al día:

Voltaje del sistema = 48V

Consumo diario= 16543.2W por el margen de seguridad 25%

$$I_{ins_{max}} = \frac{P_{max}}{V_{bateria}} [Ah/d] \quad (20)$$

$$I_{ins_{max}} = \frac{20679Wh/d}{48v} [Ah/d] \quad (21)$$

$$Iins_{max} = 430.81 [Ah/d] \quad (22)$$

### Dimensionamiento para el banco de baterías.

Datos:

Cd = consumo diario

C = capacidad de las baterías

Pd = profundidad de descarga de las baterías

Daut = días de autonomía

V = voltaje de las baterías

$$C = \frac{Cd}{V * Pd} * Daut \quad (23)$$

$$C = \frac{16543.32Wh/d}{48V * (0.7)} * (1) \quad (24)$$

$$C = 615.44Ah/d \quad (25)$$

### Cálculo de las baterías en paralelo:

El valor de la capacidad de las baterías se divide para los amperios hora de las baterías a utilizar.

$$Baterías \text{ en paralelo} = \frac{615.44Ah}{200Ah} \quad (26)$$

$$N_{ba} = 3.07 \quad (27)$$

$$N_{ba} = 3 \text{ baterías de } 48V \text{ } 200Ah$$

### Calculo de las baterías en serie.

Datos:

Voltaje del sistema = 48V

Voltaje de las baterías = 12V

$$Baterías \text{ en serie} = \frac{48V}{12V}$$

## Baterías en serie = 4

Diagrama de conexión de las baterías.

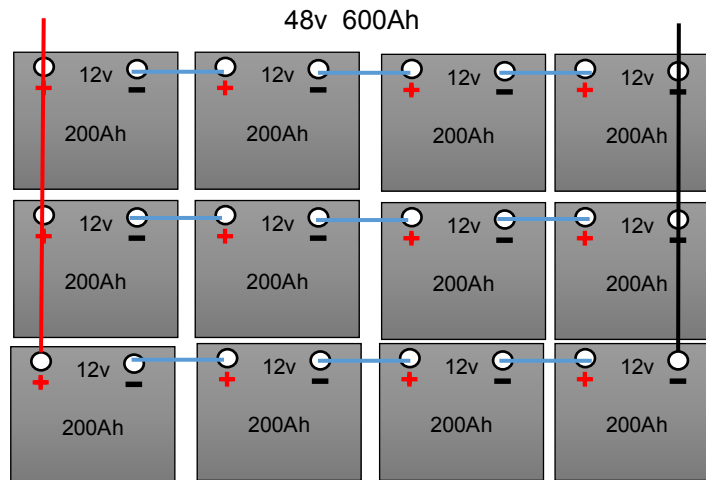


Fig. 26 Conexión del banco de baterías

Fuente: (Bernal, 2021)

En la ilustración 26 se muestra la conexión que debería tener el banco de baterías para cubrir con la demanda de energía, se muestra tres baterías en paralelo y cuatro en serie teniendo un total de doce baterías, de esta manera se obtiene el voltaje y corriente requerido para la alimentación de las cargas del sistema de iluminación.

### Calculo del inversor:

El cálculo del inversor se obtiene de a partir de la potencia máxima calculada de todos los equipos de iluminación en este caso en particular, multiplicado el coeficiente de simultaneidad de uso, en este caso es de uno por que se enciende o activa toda la carga y se multiplica por el margen de seguridad de un 25% por protección de los equipos e eficiencia de inversor.

$$Inv = 2757.2W * (1) * 1.25 \quad (28)$$

$$Inv = 3446.5W \quad (29)$$

Con el cálculo obtenido se considera la utilización de varias combinaciones, con diferentes potencias de inversores como por ejemplo uno 3000W y otro de 500W dando la potencia necesaria de salida, pero también se debe verificar que los inversores soporten en el voltaje de ingreso en este caso de 48V DC para ello los inversores de bajas potencias comercializados de 500 a 1500W soportan voltajes de 12 a 24V. El voltaje en la salida que puede ser 120V a 220V

AC con un solo inversor se puede obtener dichos voltajes o se puede hacer un arreglo que permita obtener el voltaje de 220v con dos inversores de 120V separando sus fases y teniendo un neutro en común.

Los inversores a utilizar son dos mostrado en la ilustración 3.24, cada uno de 2000W con entrada de 48V DC y salida de 120-220V AC.

### **Calculo de caída de tensión desde los paneles solares hasta el controlador de carga**

Se utilizar un tipo de conductor numero 10 AWG cuya característica técnica estarán dadas en el anexo 2, para el cálculo de la caída de tensión en DC se aplica la siguiente ecuación.

$$\Delta V = \frac{2 * I * \rho * L}{S} \quad (30)$$

L= longitud del cable en metros 35 m

S= sección del conductor 5.26mm<sup>2</sup>

$\rho$ = resistividad del cable 3.3436 ohm/km = 0.00334 ohm/m

I= corriente 26.52

$$\Delta V = \frac{2 * 26.52A * 0.00334\Omega/m * 35m}{5.26mm^2} \quad (31)$$

$$\Delta V = 1.17V \quad (32)$$

La caída de tensión presentada desde la conexión de los paneles fotovoltaicos hacia el controlador de carga es menor al 4% admisible según establece la norma para caídas de tensión, esta caída de tensión se daría al llegar a los dos controladores descarga ya que son dos circuitos independientes por cada bloque de conexión de los paneles como se indica más adelante en el diagrama de conexión.

El conductor que conecta este tramo será ubicado por debajo de la estructura que sostiene a los paneles solares y se pasara dentro de una sola tubería de politubo 3/4 bordeando el filo de la cumba del techo lateral izquierdo hasta llegar a la pared posterior conforman las capillas superiores y de bordear de igual manera hasta llegar al punto de conexión que es junto a la capilla que tiene acceso a las dos terrazas.

### 4.3. Cálculo de protecciones

#### Cálculo de protecciones entre los paneles y controladores de carga

Según las normas que establece el código eléctrico para el cálculo de una protección eléctrica no debe superar el 25% de su corriente nominal, para ello se necesita conocer algunos datos como la potencia y el voltaje para determinar la corriente nominal y multiplicar su valor por el 25% en caso de que no exista el valor corriente, en este caso se tiene una corriente aproximada a 26.52A que emite los paneles.

$$I = 26.52A * 1.25 \quad (33)$$

$$I = 33.15 A \quad (34)$$

Con el valor obtenido de la protección se puede utilizar 2 porta fusibles de 32 amperios en DC o también se puede utilizar magnético térmico en DC para los circuitos de conexión de los paneles, según los datos de fabricantes de protecciones eléctricas esta sería la más aproximada.

#### Cálculo de protecciones desde el centro de carga al inversor

Con los datos del inversor a utilizar se obtiene el valor de la protección a la salida en AC, para poder determinar su corriente nominal de los mismos que son:

Potencia = 2000W

Voltaje = 120V AC

$$I = \frac{P}{V} \quad (35)$$

$$I = \frac{2000W}{120V} \quad (36)$$

$$I = 16.66A$$

$$I = 16.66A * 1.25 \quad (37)$$

$$I = 20.83 A \quad (38)$$

Con los datos obtenidos se necesita una protección bifásica magneto térmico, uno para cada inversor de aproximadamente veinte amperios.

### Ubicación del sistema fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos serán puestos sobre la cubierta del techo superior del lado derecho. como se muestra en la ilustración 27, considerando colocar de este lado para aumentar la eficiencia de los paneles, disminuyendo las sobras causadas por edificaciones construidas al lado izquierdo con mayor proximidad a la iglesia.



Fig. 27 Ubicación de los paneles fotovoltaicos

Fuente: (Bernal, 2021)

La estructura diseñada para soportar el peso y la inclinación de los paneles está diseñada en el anexo cuatro, cuya estructura para ser montada sobre el techo debe ser por partes debido a las dimensiones y resistividad del techo, las misa que irán sujetas en las vigas estructurales que ayudarían a disipar proporcionalmente el peso.

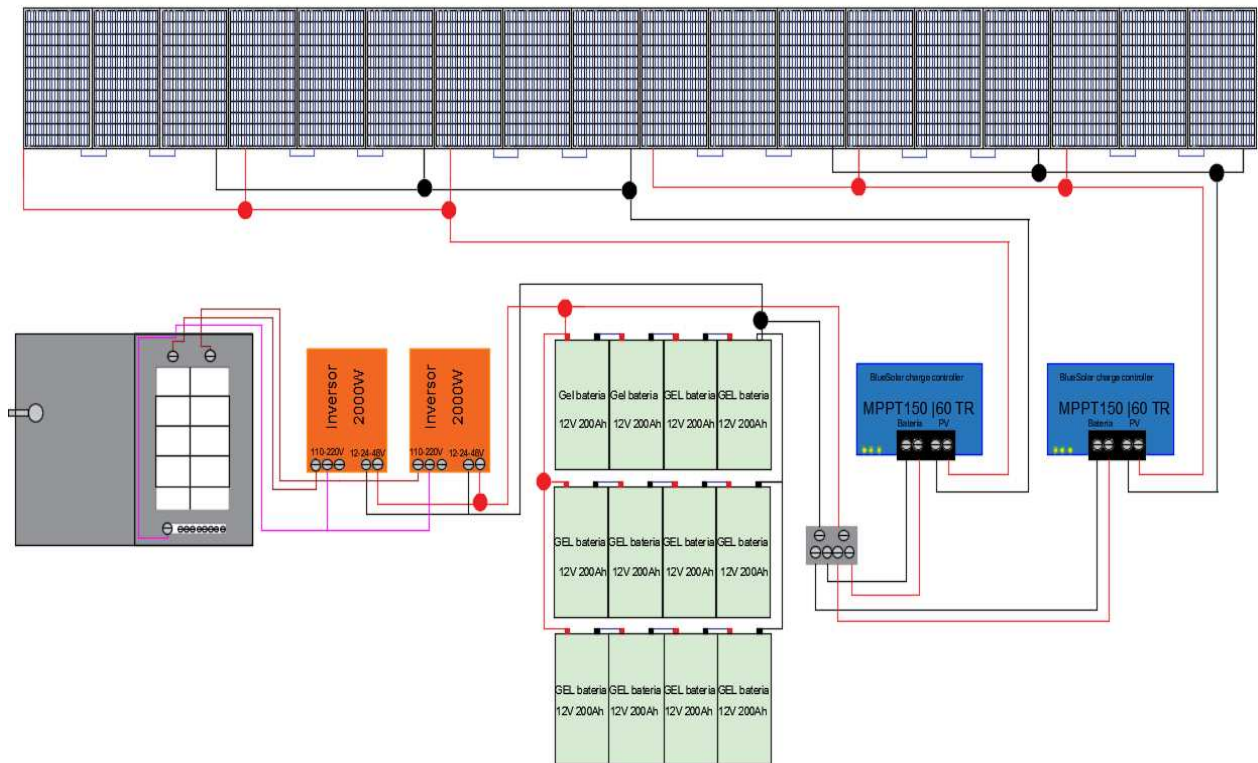


Fig. 28 Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico

Fuente: (Bernal, 2021)

### Ubicación de los equipos de control

La ubicación de los equipos que se instalarán para el sistema fotovoltaico, serán puestos en la planta alta denominada capilla, esta es una de las áreas con una buena ventilación y que tiene acceso a puertas que llevan a las terrazas laterales, las mismas que no son concurridas por personas que visitan la iglesia ya sea por turismo o culto religioso lo que le convierte en una zona aislada apta para la función como centro de control.

Los controladores de carga e inversor pueden ser empotrados en la pared directamente si la necesidad de soportes rediseñados. El banco de baterías será ubicado en un estante metálico que soporte aproximadamente 700kg cuyo peso es la suma de todas las baterías y su diseño se muestra en el anexo tres.

#### **4.4. Comparación de paneles solares**

##### **Paneles de silicio mono cristalinos**

Este tipo de panel fue uno de los primeros en fabricarse desde hace tiempos históricos su desventaja tiene en su proceso de calentamiento es lento, su fabricación es más costosa y lenta, resulta un tanto ligero en eficiencia en comparación a los policristalinos.

##### **Paneles de silicio policristalinos**

El descubrimiento del panel policristalino se realizó hace poco tiempo, tiene algunas ventajas en comparación a los paneles monocristalinos algunas de ellas son, tienen un proceso de calentamiento más rápido, su fabricación es menos costosa y más rápida, y tiene una insignificante menor eficiencia que los paneles monocristalinos.

#### **4.5. Selección de tipos baterías**

Las baterías son un elemento compuesto por celdas electroquímicas que son capaces de convertir la energía química en energía eléctrica con corriente continua que a su vez están divididas en un polo positivo y negativo.

##### **Baterías de plomo-ácido abiertas**

Son baterías monoblock compuesta por lo general de seis celdas de 2V cada una, se conecta en serie para obtener un voltaje de 12V, en general son las baterías más baratas que existen en el mercado. Son comúnmente utilizadas en vehículos para encender motores de arranque, también se puede utilizar en sistemas fotovoltaicos considerando que su mantenimiento es constante debido a que sus celdas se secan y necesitan siempre ser revisadas el nivel del líquido para alargar su vida útil. Los elementos que conforman esta batería se puede observar en la ilustración 29.

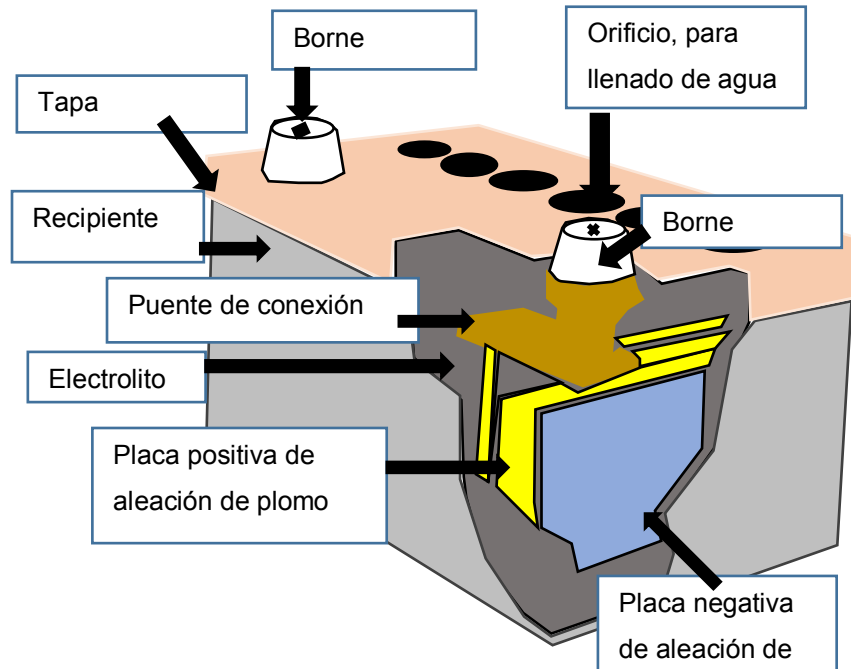


Fig. 29 Estructura de la batería de Plomo ácido

Fuente: (Bernal, 2021)

Ejemplo de batería:

Batería OZONYX (marca comercial) plomo ácido 12V 205Ah



Fig. 30 Batería de plomo ácido 12v 205Ah

Fuente: (S.L, 2021)

El costo estimado de la batería es \$250 USD

Tabla 15. Datos técnicos batería Plomo Ácido

Marca	Ozonyx
Capacidad	205Ah
Peso del producto	44.5 kg
voltaje	12v
Referencia del fabricante	OZX205.A
Ciclos	800
medidas	513*223*223 mm
Garantía	1 años
Profundidad de descarga	50%
Diseño de vida útil	5 años

Fuente: (Bernal, 2021)

### **Batería de gel de plomo acido**

Este tipo de baterías son selladas no se necesita dar mantenimiento como las de plomo acido abiertas (se tiene que agregar agua destilada), en las selladas sus celdas son cubiertas por un gel (masa gelatinosa) que cumplen la misma función que el agua destilada, pero no disminuye su nivel. Se puede decir que este tipo de baterías es una evolución de las baterías de plomo acido abiertas, e ideales para sistemas fotovoltaicos que soportan un gran número ciclos de descarga profunda sin que exista grandes daños y disminuir su vida útil, otra ventaja es que permite que su capacidad de carga llegue a un 80% por largos periodos de tiempo.

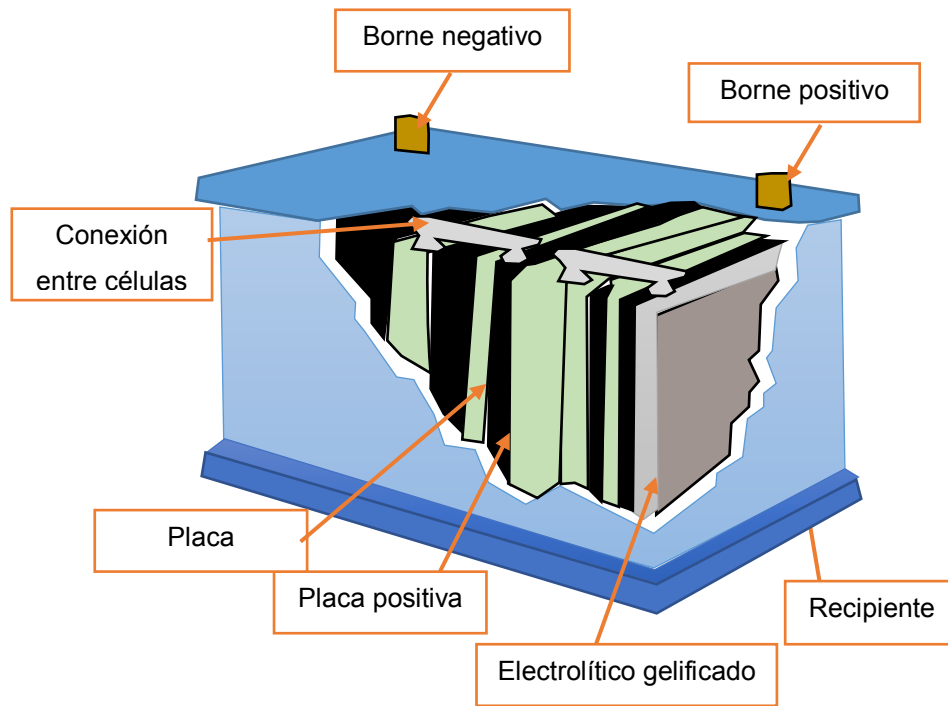


Fig. 31 Estructura de la batería de gel

Fuente: (Bernal, 2021)

Ejemplo de batería:

Batería Greensun Solar de Gel (marca comercial) 12V 200Ah



Fig. 32 Batería de gel

Fuente: (Solar G. , Greensun Solar, 2021)

Las baterías de este tipo tienen un costo estimado de \$350 USD cada unidad.

Tabla 16. Datos técnicos batería Gel

Marca	Servicio Greensun o oem
Capacidad	200Ah
Peso del producto	58 kg
voltaje	12v
Referencia del fabricante	JFM-200-12
Ciclos	2300
medidas	522*240*245 mm
Garantía	3 años
Profundidad de descarga	70%
Diseño de vida útil	8-10 años

Fuente: (Bernal, 2021)

Las baterías AMG son de tipo sellada de igual manera son de plomo acido, regulada por una válvula. Esta tecnología está basada en las baterías de gel, también no necesitan de mantenimiento porque son compuestas de un material absorbente de fibra de vidrio (Absorber Glass Mat). En la actualidad es una batería recomendada por su gran resistencia a vibraciones, choques mecánicos, resistencia a la profundidad de descarga y soporta un gran número de ciclos de carga y descarga.

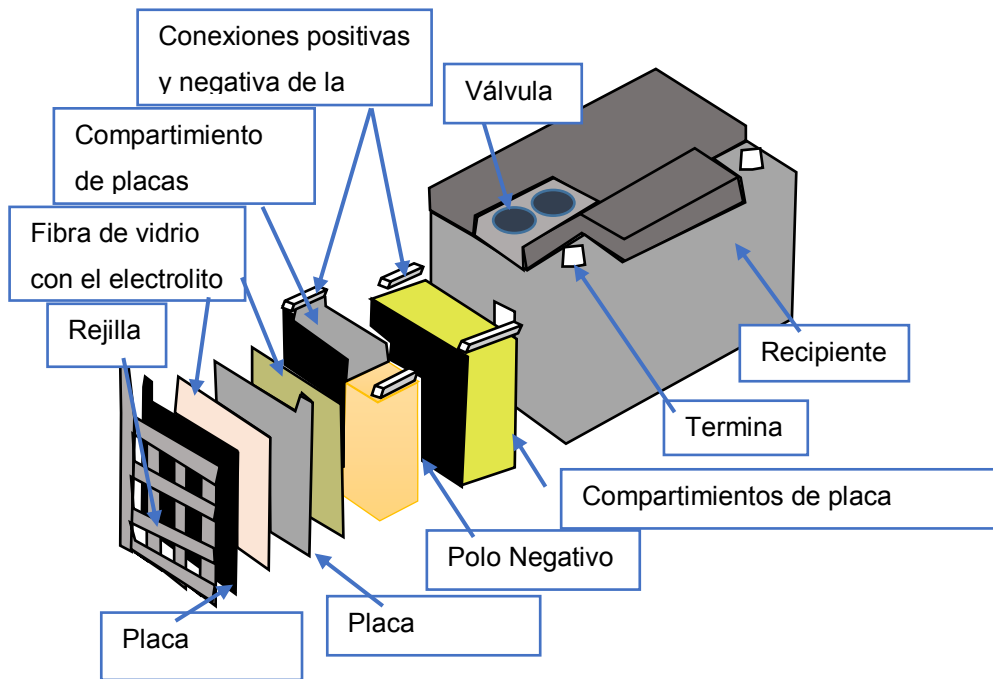


Fig. 33 Estructura de la batería AMG

Fuente: (Bernal, 2021)

Ejemplo de la batería:

Batería Master U-Power:



Fig. 34 Batería AMG

Fuente: (Solar G. , Greensun Solar, 2021)

El costo aproximado de este tipo de baterías es \$300 USD.

Tabla 17. Datos técnicos Batería AMG

Marca	Servicio Greensun o OEM
Capacidad	200Ah
Peso del producto	57 kg
voltaje	12v
Referencia del fabricante	FM-200-12
Ciclos	1500
medidas	522*240*245 mm
Garantía	3 – 5 años
Profundidad de descarga	70%
Diseño de vida útil	8-10 años

Fuente: (Bernal, 2021)

### **Batería de Ion de Litio**

Las baterías de litio son completamente distintas a las de plomo ácido abiertas, Gel y AMG. Son consideradas modernas por sus grandes características que la hacen la mejor en relación a la resistencia de carga y descarga, sus ciclos de carga supera en tres veces más a las anteriores prologando la vida útil por mayor tiempo, otra ventaja de este tipo de baterías, no necesitan de mantenimiento, no emiten gases tóxicos, ideal para áreas cerradas y de temperatura ambiente.

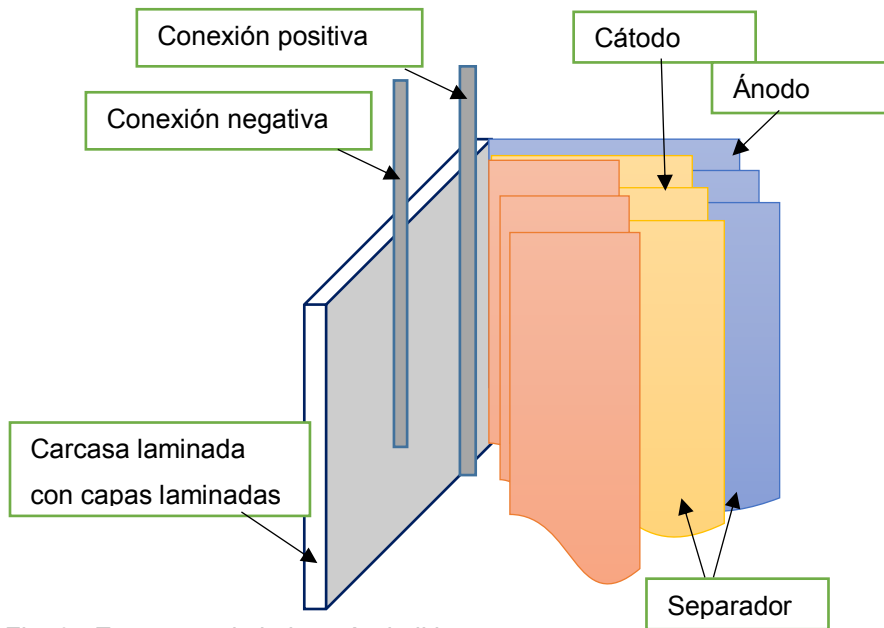


Fig. 35 Estructura de la batería de litio

Fuente: (Bernal, 2021)

Ejemplo de batería:

Batería PowerBrick+ de litio



Fig. 36 Batería de litio

Fuente: (solutions, 2021)

El costo aproximado de la batería es de \$2800 USD cada unidad.

Tabla 18. Datos técnicos Batería de litio

Marca	Power Brick
Capacidad	250Ah
Peso del producto	31.6 kg
voltaje	12v
Referencia del fabricante	PowerBrick+12v250Ah
Ciclos 100% descarga	2000
medidas	500*280* cm
Ciclos 80% descarga	4000
Profundidad de descarga	80% 100%
Resistencia de temperatura	70 °C
Auto descarga	< 3% por mes
Eficiencia Energética	96% -99%
Modo de carga	CC/CV voltaje y corriente constante
Corriente de carga estándar DCmax	125 A – max 150A
Voltaje de atajo BMS	14.8V

Fuente: (Bernal, 2021)

### Ventajas y Desventajas de los diferentes tipos de baterías.

Tabla 19. Ventajas y Desventajas

<b>Batería plomo acido abierta</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Costo	Necesita de mantenimiento
Carga rápida	Profundidad de descarga 50%
Permite que su capacidad de carga llegue a un 80% por largos periodos de tiempo	Menos ciclos de carga y descarga
	Derraman ácido
	Emiten gases tóxicos
<b>Baterías de gel</b>	

No necesitan mantenimiento	Tiene un menor ciclo de carga y descarga que las baterías de litio, pero mayor que las de plomo ácido y AMG
Mayor resistencia a la descarga profunda (descarga lenta)	Costo
Mejor rendimiento en climas cálidos	Profundidad de descarga 50- 70 %
No liberan gases, ideal para ambientes cerrados	
No derrama ácido	
<b>Baterías AMG</b>	
Costo	Menos ciclos de carga y descarga que las de litio y gel
No necesitan mantenimiento	Profundidad de descarga 50 70%
Mayor número de modelos, son más económicas que las de gel	Poca resistencia de descarga
Recomendables para ambientes fríos	Menos vida útil
<b>Baterías de litio</b>	
Mayor número de ciclos de carga y descarga	Costo elevado
Profundidad de descarga 80 -100%	Posible explosión por sobrecarga o elevadas temperaturas
Mayor vida útil	
Resistencia a temperaturas hasta 70 °C	
No derrama ácido	
No necesita de mantenimiento	

Fuente: (Bernal, 2021)

### **Análisis de las Baterías a utilizar.**

De acuerdo a los datos expuestos en el anterior literal (tabla 20.) las baterías óptimas para el proyecto fotovoltaico son las de litio y las de gel, debido a sus características constructivas y de rendimiento, recalcando que las baterías de litio son mejores.

En el punto de análisis costo beneficio la batería de gel predomina a la batería de litio como se indica en la siguiente tabla 21.

Tabla 20. Comparativa de baterías a usar

<b>Tipo de batería</b>	<b>Costo</b>	<b>Ciclos de carga y descarga</b>	<b>Profundidad de descarga</b>	<b>Cantidad de ciclos igual inversión</b>
<b>Ion Litio</b>	\$ 2800	5000	70%	2800
<b>Gel</b>	\$ 350	2000	70 %	1260

Fuente: (Bernal, 2021)

En este proyecto se utilizará las baterías de gel, de acuerdo al análisis realizado con los datos técnicos como también los análisis de costos.

En el caso de existir una avería en el banco de baterías ya sea por una o varias baterías dañadas su remplazo es favorable con menos costos de inversión que una batería de litio. La combinación de conexión más eficiente, es conectar todas las baterías en serie aumentado el voltaje al final de los bornes y con una misma corriente predominante, esto ayuda cuando el banco de baterías se carga disminuye las probabilidades de que exista sobrecargas en una sola batería y dañe su vida útil. En el caso de estudio para este proyecto no se considera la conexión total en serie debido a los voltajes y potencias que manejan los controladores de carga e inversores.

#### **4.6. Selección y análisis del controlador.**

EL controlador de carga es un sistema encargado de dirigir y controlar la energía de los paneles fotovoltaicos y las baterías evitando las sobrecarga y sobredescarga de las baterías manteniendo niveles de voltaje estable.

#### **Tipos de reguladores o controladores de carga.**

PWM (Pulse Width Modulation- modulación por ancho de pulso) son más antiguos en cuanto a tecnología, en su interior está incorporado un diodo que hace que trabaje al mismo voltaje que los módulos solares y las baterías, teniendo a la salida un mismo voltaje e intensidad.

MPPT (Maximum Power Point Tracking - seguidor del punto de máxima potencia) este sistema no incorpora un diodo de protección como los controladores PWM, a su vez está compuesto por convertidores de tensión CC-CC. Este sistema permite que se pueda tener potencias diferentes (voltaje y corriente) de los módulos fotovoltaicos y de las baterías haciendo más eficiente a todo el sistema.

Tabla 21. Diferencias de los controladores PWM-MPPT

<b>PWM</b>	<b>MPPT</b>
Solo se utiliza si los módulos fotovoltaicos y las baterías tiene la misma tensión	Maximiza la corriente a la salida a baterías
Tiene un costo menor	Se dimensiona acorde a la potencia de los módulos y la tensión de las baterías
Se dimensiona de acuerdo a la intensidad máxima de los módulos y de las baterías	Se daña cuando sobrepasa su tensión máxima en la entrada de los módulos
Se daña cuando sobrepasa su intensidad nominal	Trabaja con paneles de 36-72 células y paneles solares de conexión a la red
Solo trabaja con placas de 36- 72 células es decir 12V y 24V	

Fuente: (Solar A. , Auto solar, 2021)

### Controlador de carga PWM de 50 A

El costo estimado de este controlador de carga es de \$90 USD en el mercado eléctrico ecuatoriano.



Fig. 37 Controlador de carga PWM

Fuente: (QuitoLED, 2021)

Tabla 22. Datos informativos controlador PWM

<b>Controlador PWM</b>	
Materia	Plástico
Modelo	BSC6024

Voltajes	12-24-36-48v
Corriente	50 A
Pantalla	LCD
USB dual	5V – 3A

Fuente: (Bernal, 2021)

### Controlador de carga MPPT 50A

Costo estimado \$500 USD controlador de marca reconocida



Fig. 38 Controlador de carga MPPT

Fuente: (POWER, 2021)

Tabla 23. Datos informativos controlador MPPT

<b>Controlador MPPT</b>	
Materia	Plástico
Modelo	MPPT/ 150 I 60-TR
Voltaje de baterías	12-24-36-48V DC
Voltaje de paneles	150V DC
Corriente	50 A
Pantalla	NO dispone
IP	43

Fuente: (Bernal, 2021)

#### 4.7. Selección del inversor.

El inversor es un dispositivo electrónico cuya función específica es transformar la corriente continua a corriente alterna (DC a AC), los voltajes comúnmente a transformar son de 12V y 24V en DC, 110 V y 220V en AC, también existe otros inversores que pueden trabajar con tres voltajes 12V- 24V-48V en DC, eso quiere decir diferentes combinaciones en el banco de baterías, en el siguiente caso se muestra un inversor con dichas características:

##### Inversor ZONHAN 2000w

Costo estimado de este tipo de controlado tiene un aproximado a \$450 USD.



Ilustración 4.1. Inversor 2000w

Fuente: (ZONHAN, 2021)

Tabla 24. Datos técnicos inversor 2000w

<b>Modelo TW-2000</b>		<b>TW – 2000 12V</b>	<b>TW – 2000 24V</b>	<b>TW – 2000 48V</b>
Salida AC	Potencia continua	2000w		
	Potencia de sobretensión	4000w		
		120%		
		150%		
	Forma de onda	Sinusoidal pura (THD<3%)		
	Frecuencia de salida	50Hz o 60Hz (opcional)		
Voltaje de salida AC	110 -120 V AC/ 200-240V AC (opcional)			

Salida Dc	Voltaje de entada DC	12V CC	24V CC	48VCC
	Rango de voltaje	10.8v-15.5v	21.6v- 31v	43.2v – 62v
	Alarma por bajo voltaje	10.8v± 0.2v	21.6v± 0.4v	43.2v± 0.8v
	Apagado por bajo voltaje	10.2v± 0.2v	20.4v± 0.4v	40.8v± 0.8v
	Apagado por sobretensión	15.5v± 0.2v	31v± 0.4v	62v± 0.8v
	Conversión de máxima Eficiencia	90% carga completa - 95% (1/3 de carga)		
Protección	Sobre térmico	75°C		
	Cortocircuitos	Polaridad inversa		
	Ventilación automática	=>45°C		
Ambiente	Temperatura de trabajo	-10°C + 50°C		
	Humedad de trabajo	20% 90% sin condensación		
Embalaje	Dimensiones	450*305*355 mm		
	Peso	14 kg		

Fuente: (ZONHAN, 2021)

El tipo de inversor seleccionado se da en base a los cálculos realizados en la ecuación 29, que tiene que cubrir una potencia de 3446.5W para lo cual se puede seleccionar algunas combinaciones de inversores como, por ejemplo:

Primera combinación: 2 inversores uno de 3000W y 500 W

Segunda combinación: 2 inversores uno de 2000W y 1500W

Tercera combinación: 3 inversores dos 1500W y uno de 500W

Al considerar los niveles de voltaje de entrada, comúnmente los fabricantes lo realizan para niveles de 12 y 24 voltios, también existen inversores con más tecnología que pueden trabajar a diferentes voltajes de 12 V—24V—48V sin que exista una pérdida grande de potencia a la salida de inversor. Con la investigación de cada inversor conociendo su potencia y su voltaje de ingreso en DC y salida AC, los inversores de baja potencia no trabajan con voltaje superior a los 24V, por ejemplo: los de 500W, 1000W y 1500W. Los inversores con potencias superiores o iguales a 2000W existen algunos que operan opcional con los tres niveles de voltaje 12V-24V-48V.

Puntual mente en este proyecto que está diseñado un banco de baterías de 48V DC, que obliga a utilizar un inversor de gran potencia superior a igual a los 2000W para que cumpla con su nivel de voltaje de ingreso, lo cual no permite utilizar las combinaciones de potencia

ejemplificadas anteriormente. El sistema utilizará dos inversores de 2000W separados en dos circuitos independientes y así cumplir con la demanda de energía, además quedará sobre dimensionado el sistema por la razón que no se puede en este caso hacer una combinación de inversores.

En el mercado eléctrico internacional se obtiene inversores de 4000W que cumplen con los estándares técnicos, que sería ideal para este sistema omitiendo los dos inversores e instalar uno solo, la dificultad se da en la complicación de conseguirlos dentro del mercado nacional ecuatoriano además de ello su costo no es competitivo que al poner dos inversores que generan un margen de seguridad de abastecimiento de energía del 50%.

#### **4.8. Sistema de transferencia de carga**

El sistema de transferencia de carga tiene la función de conectar y desconectar un sistema de abastecimiento de energía, ya se una suministrada por la red pública y la otra por un generador independiente, en este caso sería el sistema fotovoltaico. Al considerar la conexión en el sistema para este caso de estudio la transferencia de carga del sistema primario sería la generación fotovoltaica en el abastecimiento de energía y como sistema de emergencia la red pública.

Existen dos sistemas de transferencias con diferentes configuraciones.

-Transferencias manual:

Puede ser llevada en cajas moldeadas con interruptores termomagnéticos o con llave conmutadora.

-Transferencia automática:

Control eléctrico: Aplicando contactores, relés, temporizadores entre otros.

Relevadores inteligentes: micro PLC (logo de siemens, shell schneider) entre otros

Controladores de transferencia: como por ejemplo (InteliLite ATS)

Para este proyecto se diseñó un sistema de transferencia automática con productos que son de menor costo tales como dos contactores y un relé su diagrama de conexión se encuentra en el anexo 5.

## CAPÍTULO 5

### 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. Análisis de costos

Es una estrategia que se opta para obtener mayor precisión de los costos de proyectos, producción, servicio entre otros. El análisis de costos siempre busca obtener una buena rentabilidad a través de la inversión que se va a realizar, entonces al planificar se puede hacer de distintas maneras como por ejemplo el estado actual comparado con el proyectado y obtener sus costos directos e indirectos en la actividad.

En la siguiente tabla 26, da los costos de inversión en el sistema de iluminación proyectado para la iglesia de Turi- Cuenca - Ecuador.

Tabla 25. Presupuesto referencia del proyecto de iluminación

<b>Materiales</b>		<b>Mano de obra</b>		<b>Estudios</b>
Materiales eléctricos	\$5,600.00	Montaje	\$5,200.00	\$1.400.00
Luminarias (106 - RGB)	\$67,200.00	Desmontaje	\$600.00	
		Imprevistos 5%	\$290.00	
Total	\$72,800.00		\$6,090.00	\$1,400.00
<b>Sumatoria</b>	\$80,290.00			
<b>IVA 12%</b>	\$9.634.80			
<b>Costo total</b>	\$89.924.80			

Fuente: (Iluminar F. , 2020)

La siguiente tabla contiene todos los datos referentes a materiales y presupuesto referencial para la instalación del sistema fotovoltaico calculado anteriormente.

Tabla 26. Presupuesto referencial del sistema fotovoltaico

<b>Materiales eléctricos</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio c/unid</b>	<b>Precio total</b>

Cable Concéntrico	100	2.5	250
Conectores de baterías	24	2.5	60
Poli tubo	100	0.24	24
Abrazaderas	100	0.14	14
Tornillos	150	0.04	6
Cable para las baterías	20	3	60
Tacos Fisher	150	0.02	3
Centro de carga	1	60	60
Varilla puesta a tierra	1	8	8
Breaker	4	8	32
Otros	1	200	200
<b>Total</b>		<b>\$</b>	<b>717</b>
<b>Estructuras</b>			
Soportes de paneles (techo)	1	600	600
Estante para banco de baterías	1	200	200
<b>Total</b>			<b>800</b>
<b>Mano de obra</b>			
Paneles	18	20	360
Controladores	2	20	40
Inversores	2	20	40
Baterías	12	5	60
Centro de carga	1	30	30
Puesta a tierra	1	20	20
<b>Total</b>			<b>550</b>
<b>Dispositivos del Sistema fotovoltaico</b>			
Paneles	18	178	3204
Controladores	2	500	1000
Inversores	2	450	900
Banco de baterías	12	350	4200
<b>Total</b>			<b>9304</b>
		<b>Sin IVA</b>	11371
		<b>IVA 12%</b>	1364.52
		<b>Costo total</b>	<b>12735.52</b>

Fuente: (Bernal, 2021)

Con el costo total del sistema fotovoltaico se realiza una comparación promedio, entre el costo del servicio de electricidad y costo del sistema fotovoltaico con proyección a la vida útil del sistema.

## **5.2. Análisis del Pliego Tarifario**

Para un análisis de costo es indispensable conocer el Pliego tarifario de servicio eléctrico, que rige al país en este caso Ecuador y su nombre es Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) en el cual define a los tipos de consumidores del servicio eléctrico que se detalla a continuación:

**Consumidor regulado:** Persona natural o jurídica que permanece con un contrato de suministro de energía, con una empresa de distribución.

**Consumidor regulado comercial:** Persona natural o jurídica, pública o privada, que utilizan la electricidad para fines de negocio, actividades profesionales o actividades con fines de lucro.

**Consumidor regulado industrial:** Persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza la energía eléctrica para la elaboración o transformación de productos, también se considera a toda la parte agroindustrial.

**Consumidor regulado residencial:** Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza el servicio de energía eléctrica exclusiva para uso doméstico, sin considerar el grupo familiar o tamaño de la carga conectada, en este parámetro también se encuentra personas que tiene actividades económicas dentro del domicilio de tipo comercial y artesanal de pequeña actividad. **(ARCONEL, 2020)**

El proyecto está dentro del parámetro anterior “consumidor regulado” ya que solo se beneficia del servicio de energía eléctrica, no tiene fines de lucro o utilizada para la elaboración de productos, en base a estos términos se coloca el precio de cada kWh.

Esta dentro de la tarifa general de bajo voltaje que es menor a 600V y su potencia o demanda no excede los 10 kW.

Una vez determinado el costo del kWh se multiplica este valor por los días del mes y la sumatoria de todos los meses da el valor total anual de consumo energético.

Tabla 27. Tarifa genera en bajo voltaje, para el sistema actual

Rango de consumo mensual	Energía (USD/kWh)	Horas	Comercialización (USD/consumidor)	Demanda (kWh)	Costo kWh/día
BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA					
1 -100	0.034		1.41	no aplica	no aplica
101-200	0.36			no aplica	no aplica
201-300	0.038			no aplica	no aplica
Superior	0.063	6		5.15	1.95

Fuente: (Bernal, 2021)

El valor obtenido de \$1.95 USD es el servicio eléctrico diario, ese valor se multiplica por los días de cada mes y se suma costo de comercialización que es de \$ 1.41 USD de esta manera se obtiene el valor mensual.

En la siguiente tabla 29 se obtiene los valores de consumo energético y costo de servicio eléctrico actual, detallando cada mes su consumo y costo.

Tabla 28. Costos y Consumo anual de energía en el sistema Actual

Mes	Días	Demanda (W)	Horas	kWh/día	kWh/mes	Costo kWh/mes
Enero	31	5151	6	30.91	958.09	61.77
Febrero	28	5151	6	30.91	865.37	55.93
Marzo	31	5151	6	30.91	958.09	61.77
Abril	30	5151	6	30.91	927.18	59.82
Mayo	31	5151	6	30.91	958.09	61.77
Junio	30	5151	6	30.91	927.18	59.82
Julio	31	5151	6	30.91	958.09	61.77
Agosto	31	5151	6	30.91	958.09	61.77
Septiembre	30	5151	6	30.91	927.18	59.82
Octubre	31	5151	6	30.91	958.09	61.77
Noviembre	30	5151	6	30.91	927.18	59.82
Diciembre	31	5151	6	30.91	958.09	61.77
<b>Consumo total Anual</b>					<b>11280.69</b>	<b>727.60</b>

Fuente: (Bernal, 2021)

Interpretado el resultado quiere decir que el consumo mensual varía entre \$61.77 y \$59.82 USD mensual de acuerdo a los días que tiene cada mes, el costo total anual se obtiene a partir de la sumatoria de costos mensuales teniendo como resultado un costo por servicio de eléctrico de \$727.60 USD, el costo por servicio eléctrico varia notablemente de cuerdo a la tecnología utilizada en las luminarias.

Con el remplazo de los datos obtenidos de la demanda en la tabla 14, se obtiene los siguientes costos de consumo diario del diseño de iluminación proyectado.

Tabla 29. Tarifa genera en bajo voltaje sin demanda, para el sistema iluminación Proyectado

Rango de consumo mensual	Energía (USD/kWh)	Horas	Comercialización (USD/consumidor)	Demanda (kWh)	Costo kWh/día
BAJO VOLTAJE SIN DEMANDA					
1 -100	0.034		1.41	no aplica	no aplica
101-200	0.036			no aplica	no aplica
201-300	0.038			no aplica	no aplica
Superior	0.063	6		2.76	1.04

Fuente: (Bernal, 2021)

Interpretando los resultados de la tabla 30, expresa el costo del consumo de energía diario proyectado para el nuevo sistema de iluminación. El consumo es de aproximado 16.54 kW/día de energía eléctrica teniendo un costo de \$1.04 USD al día, cabe recalcar que el horario de encendido y apagado es desde las 18:00 a 00:00 horas.

Como se puede observar en la tabla 30, el consumo de energía eléctrica disminuye aproximadamente al 50% del consumo actual de energía eléctrica proyectado en la tabla 4.4, a su vez esto conlleva a una reducción de costos del servicio eléctrico anual.

En base a la tabla 30, se obtiene la tarifa general en bajo voltaje, para el sistema iluminación proyectado, en la tabla 31, se muestra a continuación los costos y consumo de energía en el sistema proyectado de todos los meses que conforman el año:

Tabla 30. Costos y Consumo anual de energía en el sistema proyectado.

Mes	Días	Demanda (W)	Horas	kWh/día	kWh/mes	Costo kWh/mes
Enero	31	2757.2	6	16.54	512.84	33.72
Febrero	28	2757.2	6	16.54	463.21	30.59
Marzo	31	2757.2	6	16.54	512.84	33.72
Abril	30	2757.2	6	16.54	496.30	32.68
Mayo	31	2757.2	6	16.54	512.84	33.72
Junio	30	2757.2	6	16.54	496.30	32.68

Julio	31	2757.2	6	16.54	512.84	33.72
Agosto	31	2757.2	6	16.54	512.84	33.72
Septiembre	30	2757.2	6	16.54	496.30	32.68
Octubre	31	2757.2	6	16.54	512.84	33.72
Noviembre	30	2757.2	6	16.54	496.30	32.68
Diciembre	31	2757.2	6	16.54	512.84	33.72
<b>Consumo total Anual</b>					<b>6038.268</b>	<b>397.33</b>

Fuente: (Bernal, 2021)

Interpretando el resultado quiere decir que el consumo mensual varía entre \$30.59 y \$33.72 USD mensual de acuerdo a los días que tiene cada mes, el costo total anual se obtiene a partir de la sumatoria de costos mensuales teniendo como resultado un costo anual por servicio de eléctrico de \$397.33 USD.

### 5.3. Comparación de Costos entre el servicio eléctrico y el sistema fotovoltaico

El costo de inversión y la vida útil de un sistema fotovoltaico puede variar de acuerdo a los fabricantes de los componentes eléctricos, para el sistema fotovoltaico analizado se propone un periodo de vida útil de 10 años antes de dar un mantenimiento correctivo que incluya grandes gastos económicos como por ejemplo el cambio del banco de baterías.

#### Costo del sistema fotovoltaico Proyectado a 10 años

El costo estimado del proyecto fotovoltaico esta dado en la tabla 27, con un valor económico de \$12,735.52USD tomando en consideración el valor total ya mencionado que se ha estimado, se multiplica por un valor porcentual incremental del 0.5% que considera costos de mantenimiento anual de los paneles fotovoltaico, específicamente en lo que concierne a la limpieza de los paneles, que permita aprovechar la mayor cantidad de irradiación solar.

Tabla 31. Suposición de costo proyectado a 10 años del sistema fotovoltaico

<b>Costo del sistema fotovoltaico</b>		
Costo inicial	Costos de mantenimiento anual 0.5%	Costo proyectado a 10 años
\$ 12,735.52	\$ 63.67	\$ 13,372.22

Fuente: (Bernal, 2021)

Como se puede ver los costos iniciales de un proyecto fotovoltaico no se permanecen constantes, hay que multiplicarles por el costo de mantenimiento que al final influyen al realizar una comparación entre el costo y beneficio.

Para realizar la comparación entre servicios se ha decidido imponer un valor de porcentaje incremental del 5% anual al servicio eléctrico contratado, que se supone este aumento durante un periodo de tiempo de 10 años que sería el mismo tiempo del sistema fotovoltaico proyectado.

Tabla 32. Suposición del costo proyectado del servicio eléctrico a 10 años

<b>Costo de servicio eléctrico Anual</b>		
	<b>Costo inicial</b>	<b>Costo del servicio anual + 5%</b>
Primer año	473.10	473.10
Segundo año	473.10	496.76
Tercer año	496.76	521.59
Cuarto año	521.59	547.67
Quinto año	547.67	575.06
Sexto año	575.06	603.81
Séptimo año	603.81	634.00
Octavo año	634.00	665.70
Noveno año	665.70	698.98
décimo año	698.98	733.93
<b>Costo total con proyección a 10 años</b>		<b>\$ 5950.60</b>

Fuente: (Bernal, 2021)

Comparando los dos sistemas de acuerdo a tabla 33 y 32, el sistema fotovoltaico con el servicio eléctrico contratado no presenta un beneficio económico, el costo por kWh del servicio eléctrico por el momento en el Ecuador es más bajo comparado con los de un sistema fotovoltaico, no compensa el valor de inversión con la suposición que el servicio eléctrico se incremente en un 50% en los próximos 10 años.

#### **5.4. Retorno de inversión inicial**

Para el cálculo de retorno de inversión se necesita el costo del proyecto fotovoltaico y el costo del servicio eléctrico proyectado durante un periodo de tiempo similar, considerando que los

costos de energía aumenten con el paso del tiempo por el incremento de la demanda o más consumidores del sistema de abastecimiento de energía dispuesto por la red pública. Realizando una simple división entre los dos costos proyectados a diez años de los dos sistemas de alimentación de energía se obtendría la cantidad de tiempo que tomaría recuperar la inversión:

$$\text{Retorno de inversión} = \frac{\$ 12,735.52}{\$ 5,950.60} = 2.14 = 20 \text{ años}$$

Demstrado de esta manera sencilla que el sistema fotovoltaico puede ser descartado si se busca un beneficio económico a largo plazo. La esperanza de vida útil de un sistema fotovoltaico como norma general aspiran a los 25 años este valor se puede incrementarse hasta 30 años o más si existe los respectivos mantenimientos preventivo y correctivo, pero a partir de los 20 años disminuirá su potencia debido a la degradación de sus células fotovoltaicas.

## CONCLUSIONES

Para diseñar un sistema de fotovoltaico se debe conocer los niveles de radiación solar que presenta el lugar durante un periodo mínimo de un año, esto permite conocer las fechas en las que se presenta menor radiación solar, además proporciona los datos de las horas solar pico (HSP) que es fundamental para el dimensionamiento o determinar de la cantidad de paneles que se necesita para cubrir una demanda de energía en el mes más desfavorable. La hora solar pico para este proyecto se determinó en el plano inclinado de radiación solar, el mismo que presenta la mayor variación en determinados meses como el mes julio, el cual representa menor influencia de radiación solar  $3.68 \text{ kWh/m}^2$  en el plano inclinado, el plano horizontal no se lo considera ya que este no representa grandes variaciones en la hora solar pico se obtiene un promedio de  $4.10 \text{ kWh/m}^2$ .

Se pudo realizar varios cálculos matemáticos para dimensionar un sistema fotovoltaico en e incluso aplicar software que permite corroborar que los datos obtenidos son correctos con una variación de milésimas que son insignificantes, además de ello se ha aplicado márgenes de seguridad para los quipos a instalar de un 25 % para tener un sistema confiable y evitar sobrecargar.

Para rediseñar el sistema de iluminación se necesitó conocer las falencias actuales tales como la irradiación lumínica, tecnología utilizada y consumo de energía de las luminarias. Las tecnologías utilizadas para generar la proyección de luz de las luminarias actuales están basadas en vapor de metales los mismo que tiene un alto consumo energético. Con la tecnología LED de las nuevas luminarias proyectadas se obtiene mejor iluminación y menor consumo de energía que hace que sea más fácil y económico dimensionar un sistema fotovoltaico que abastezca del servicio de energía. La demanda actual proyectada es de alrededor de 5 kWh, con el rediseño del sistema de iluminación se obtiene una demanda de alrededor 2.7 kWh.

En la determinación de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico tales como paneles, controladores de carga, baterías e inversores se ha analizado datos técnicos como eficiencia capacidad, durabilidad y costos. El ámbito que representa un mayor análisis en costos, es el sistema de almacenamiento de energía, ya que de este sistema depende cumplir con la demanda de energía propuesta, existe una gran variación al determina si el proyecto es factible, según los datos obtenidos y comparados entre las baterías más ideales son las de tipo gel e ion litio son confiables en cuanto a ciclos de carga, descarga y profundidad de descarga, el inconveniente se da en las baterías de ion litio que cuadruplica el precio de una batería de gel por ende el proyecto

subiría de manera considerable teniendo menor factibilidad a largo plazo, ya que si bien es cierto una batería de litio tiene mayor profundidad de descarga y mayor ciclos de carga y descarga que una de gel, pero si se necesita remplazar las baterías en caso de alguna avería las baterías de gel costarían la mitad entre la dañada y el remplazo que una de litio e “igualaría” la cantidad de ciclos de carga y descarga a un menor precio que una de litio.

Con la recopilación de información de fuentes oficiales tales como el ARCONEL se ha podido determinar precios reales en cuanto al costos de energía por kWh y realizar comparaciones entre el sistema dispuesto por la red pública y el sistema fotovoltaico. El sistema fotovoltaico no es viable en nuestro medio por el momento, ya que el costo de energía dispuesto por la red pública es de \$0.068 centavos por kWh en mismo que tiene la tarifa más alta de acuerdo al consumo mensual que superaría a los 300kWh pese a este valor el sistema fotovoltaico es superior. El sistema fotovoltaico necesita de una inversión inicial de alrededor de \$12,735 USD y el gasto de la energía proyectado a diez años en la red pública no supera los \$5,960 USD.

## RECOMENDACIONES

Un sistema fotovoltaico es factible de acuerdo al sitio o lugar donde se va a instalar como, por ejemplo: en sectores aislados que no tengan suministro de energía eléctrica y su costo sea muy elevado, o por tener cortes del suministro de energía eléctrica por periodos prolongados.

El rediseño de un sistema de iluminación es fundamental realizarlo cada cierto periodo de tiempo, debido a que la tecnología avanza y con ello genera luminarias con mayor eficiencia energética que por ende produce un menor costo en el consumo energético como también mayor eficiencia lumínica.

El sistema fotovoltaico en caso de ser construido en uno de los lugares más atractivos de la ciudad puede causar un impacto visual que fomente al uso de energías renovables.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARCONEL. (2020). Pliego Earifario . *Pliego Earifario para las Empresas Electricas de Distribucion*, 35.
- Bernal, E. (2021).
- [2] Centelsa. (28 de Junio de 2021). *Centelsa*. Obtenido de <https://www.centelsa.com/>
- [3] Colorkinetics. (27 de Marzo de 2021). *Colorkinetics*. Obtenido de <https://www.colorkinetics.com/global/products/vaya/linear-mp-rgb>
- [4] Colorkinetics. (27 de Marzo de 2021). *Colorkinetics*. Obtenido de <https://www.colorkinetics.com/global/products/vaya/linear-mp-white>
- [5] Colorkinetics. (30 de Marzo de 2021). *Colorkinetics*. Obtenido de <https://www.colorkinetics.com/global/products/vaya/linear-mp-rgb>
- [6] CONELEC. (Agosto de 2008). Atlas Solar. *Atlas solar con fines de generación eléctrica* . Quito, Pichincha, Ecuador.
- [7] Evolux. (31 de Marzo de 2021). *Evolux*. Obtenido de <https://evolux.cl/distribucion-luminosa#:~:text=Sim%C3%A9trica%20%E2%80%93%20Asim%C3%A9trica%3A%20La%20distribuci%C3%B3n%20luminosa,de%20downlights%20para%20iluminaci%C3%B3n%20general.&text=En%20las%20luminarias%20de%20asimetr%C3%ADa,de%20distribuci%C3%B3>
- [8] Generatuluz. (21 de Abril de 2021). *Generatuluz*. Obtenido de <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/tipos-de-baterias-y-sus-caracteristicas/>
- [9] Griven. (30 de Marzo de 2021). *Griven*. Obtenido de <https://www.griven-usa.com/main/product/eklipse>
- [10] IDEAM. (30 de Diciembre de 2020). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- [11] Iluminar, F. (1 de Noviembre de 2020). Iglesia de turi. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Iluminar, F. (2020). *Iluminación Ornamental Iglesia de Turi* . Cuenca .
- [12] Isabel Benjamin Orellana Martinez, G. A. (2015). Informe de Materia de Graduación. *Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación distribuida aislada de la red para auto consumo con sistema de almacenamiento en una vivienda unifamiliar en la provincia del Guayas y analisis de viabilidad tecnica y economica*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

- [13] Ledvance. (28 de Marzo de 2021). *Ledvance*. Obtenido de <https://www.ledvance.es/profesional/productos/luminarias/luminarias-profesionales/proyectores/floodlight-100deg-gen-2/floodlight-135/index.jsp>
- [14] Ledvance. (27 de Marzo de 2021). *Ledvance*. Obtenido de <https://www.ledvance.es/profesional/productos/historias-de-productos/luminarias-led/productos/downlights-ledvance/index.jsp>
- [15] Ledvance. (30 de Marzo de 2021). *lichtbasis*. Obtenido de <https://www.lichtbasis.com/es/ledvance-floodlight-led-10w-4000k-wt-osr5810952>
- [16] Lidia del Rocío Castro Cepeda.1, C. R. (2019). Dimensionamiento de una planta de generación solar. *Dimensionamiento de una planta de generación solar fotovoltaica de 1 MW con conexión a la red de media tensión a través de un software, en la ciudad de Riobamba*, 16.
- [17] NASA. (07 de Mayo de 2021). *Nasa Power*. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [18] Orellana, G. J. (Febrero de 2015). *DSPACE UPS*. Obtenido de Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo de Bristow: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>
- [19] Ortega Ormazá Andrés Esteban, T. P. (Septiembre de 2016). Trabajo de graduación. *Diseño e implementación de una central de energía fotovoltaica para el bombeo de agua subterránea en el sector de Santa Isabel*. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- [20] Philips. (30 de Marzo de 2021). *Philips*. Obtenido de [https://www.lighting.philips.com.mx/prof/luminarias-de-exterior/proyectores-para-embellecimiento/proyectores-para-embellecimiento/colorburst-intellihue-powercore/912400136622\\_NA/product](https://www.lighting.philips.com.mx/prof/luminarias-de-exterior/proyectores-para-embellecimiento/proyectores-para-embellecimiento/colorburst-intellihue-powercore/912400136622_NA/product)
- [21] Philips. (27 de Marzo de 2021). *Philips*. Obtenido de [https://www.lighting.philips.com.mx/prof/luminarias-de-exterior/proyectores-para-embellecimiento/arquitectural-lineal/colorgraze-mx-powercore/910503703269\\_NA/product](https://www.lighting.philips.com.mx/prof/luminarias-de-exterior/proyectores-para-embellecimiento/arquitectural-lineal/colorgraze-mx-powercore/910503703269_NA/product)
- [21] Philips. (30 de Marzo de 2021). *Philips*. Obtenido de [https://www.lighting.philips.com.mx/prof/luminarias-de-exterior/proyectores-para-embellecimiento/arquitectural-lineal/ew-graze-qlx-powercore/910503703853\\_NA/product](https://www.lighting.philips.com.mx/prof/luminarias-de-exterior/proyectores-para-embellecimiento/arquitectural-lineal/ew-graze-qlx-powercore/910503703853_NA/product)
- [22] POWER, v. e. (27 de Abril de 2021). *Victron energy*. Obtenido de <https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers>

- [23] QuitoLED. (27 de Abril de 2021). *Mercado libre*. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-430028962-controlador-regulador-carga-solar-50a-1248v-usb-lcd-\\_JM#position=4&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=0f7ffc57-7a93-460b-ae6d-8611509811ff](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-430028962-controlador-regulador-carga-solar-50a-1248v-usb-lcd-_JM#position=4&search_layout=stack&type=item&tracking_id=0f7ffc57-7a93-460b-ae6d-8611509811ff)
- [24] S.L, B. W. (21 de Abril de 2021). *Amazon*. Obtenido de <https://www.amazon.es/Bater%C3%ADa-Solar-205AH-OZONYX-Abierta/dp/B07CYYBWPK>
- [25] Solar, A. (27 de Abril de 2021). *Auto solar*. Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/regulador-mppt-o-pwm#:~:text=Los%20reguladores%20PWM%20se%20caracterizan,placas%20y%20tensi%C3%B3n%20de%20bater%C3%ADas.>
- [26] Solar, A. (5 de Abril de 2021). *Auto solar*. Obtenido de <https://autosolar.es/baterias-de-litio/bateria-litio-pylontech-24v-up2500-28kwh>
- [27] Solar, A. (16 de Marzo de 2021). *Auto Solar*. Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/placa-canadian-solar-405w-policristalina-hiku>
- [28] Solar, A. (16 de Marzo de 2021). *Auto Solar*. Obtenido de <https://autosolar.es/paneles-de-conexion-a-red/panel-trina-solar-280w-policristalino>
- [29] Solar, A. (16 de Marzo de 2021). *Auto Solar*. Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-340w-24v-policristalino-era>
- [30] Solar, G. (27 de Abril de 2021). *Greensun Solar*. Obtenido de [https://www.greensunpv.com/12v-deep-cycle-storage-batteries-maintenance-free-12v-200ah-gel-battery\\_p61.html](https://www.greensunpv.com/12v-deep-cycle-storage-batteries-maintenance-free-12v-200ah-gel-battery_p61.html)
- [31] Solar, G. (27 de Abril de 2021). *Greensun Solar*. Obtenido de [https://www.greensunpv.com/storage-solar-battery-12v-200ah-deep-cycle-agm\\_p83.html](https://www.greensunpv.com/storage-solar-battery-12v-200ah-deep-cycle-agm_p83.html)
- [32] solutions, Q. e. (25 de Abril de 2021). *QKSOL*. Obtenido de <https://www.qksol.com/tienda/producto/bateria-de-ion-litio-lifepo4-powerbrick-12v-250ah/>
- [33] themes, C. p. (12 de Mayo de 2021). *Intralogística*. Obtenido de <http://intralogistica.es/?p=479>
- [34] Vélez, G. A. (2015). Energía solar y forma urbana. *Análisis de morfología urbana para la optimización de captación solar en el periurbano de Cuenca - Ecuador*, 17.
- [35] Wikipedia. (12 de Mayo de 2021). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Ecl%C3%ADptica>
- [36] ZONHAN. (28 de Abril de 2021). *ZONHAN*. Obtenido de <http://www.zonhan.com/eproducts/102.html>

## ANEXOS

### Anexo 1 Fotos del sistema de iluminación actual

Fachada frontal actual:



Fuente: (Bernal, 2021)

Fachada lateral derecha actual:



Fuente: (Bernal, 2021)

Fachada lateral izquierda actual:



Fuente: (Bernal, 2021)

Estado actual de luminarias instaladas:



Fuente: (Bernal, 2021)



Fuente: (Bernal, 2021)



Fuente: (Bernal, 2021)



Fuente: (Bernal, 2021)

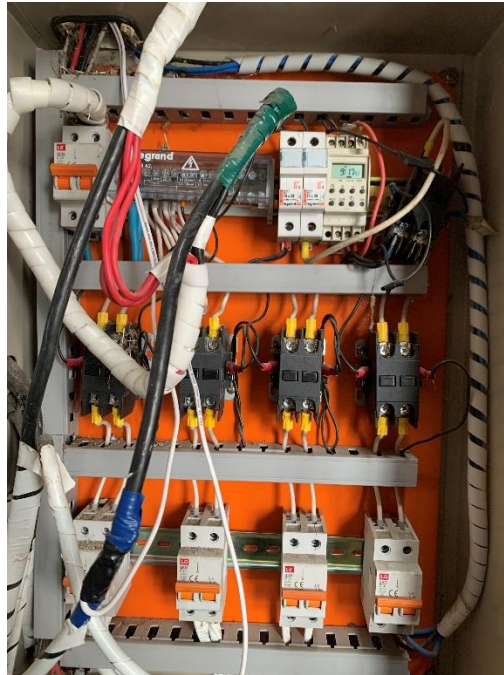


Fuente: (Bernal, 2021)



Fuente: (Bernal, 2021)

Foto del Centro de carga instalado para el sistema de iluminación exterior:

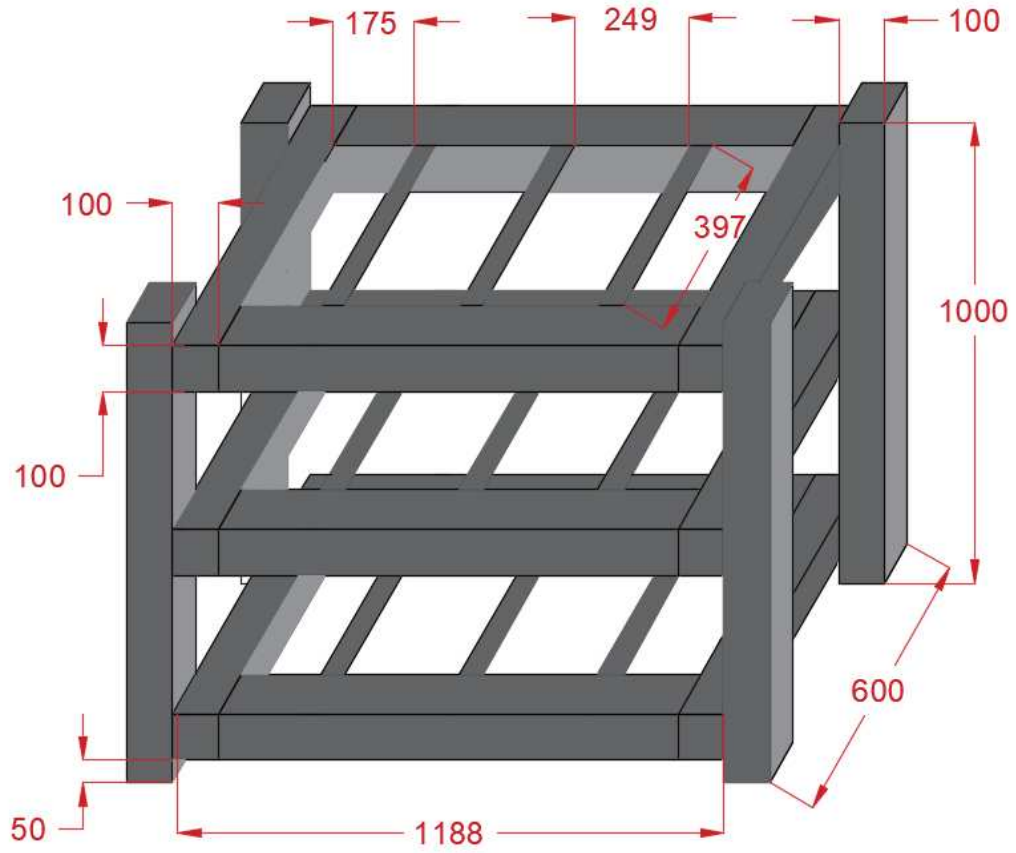


Fuente: (Bernal, 2021)



### Anexo 3 Estante para las baterías

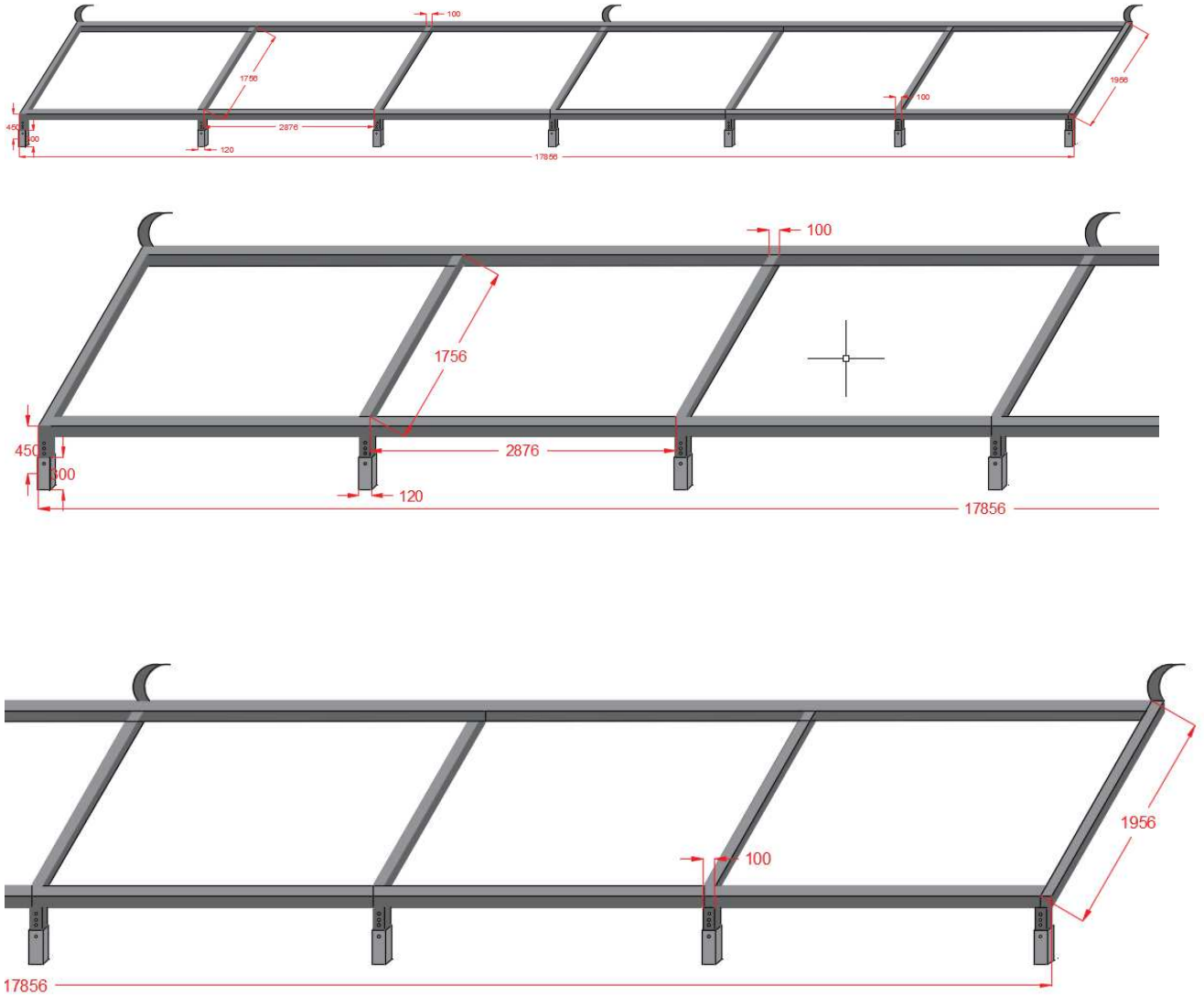
Diseño del estante de baterías sus medidas están dadas en milímetros (mm)



Fuente: (Bernal, 2021)

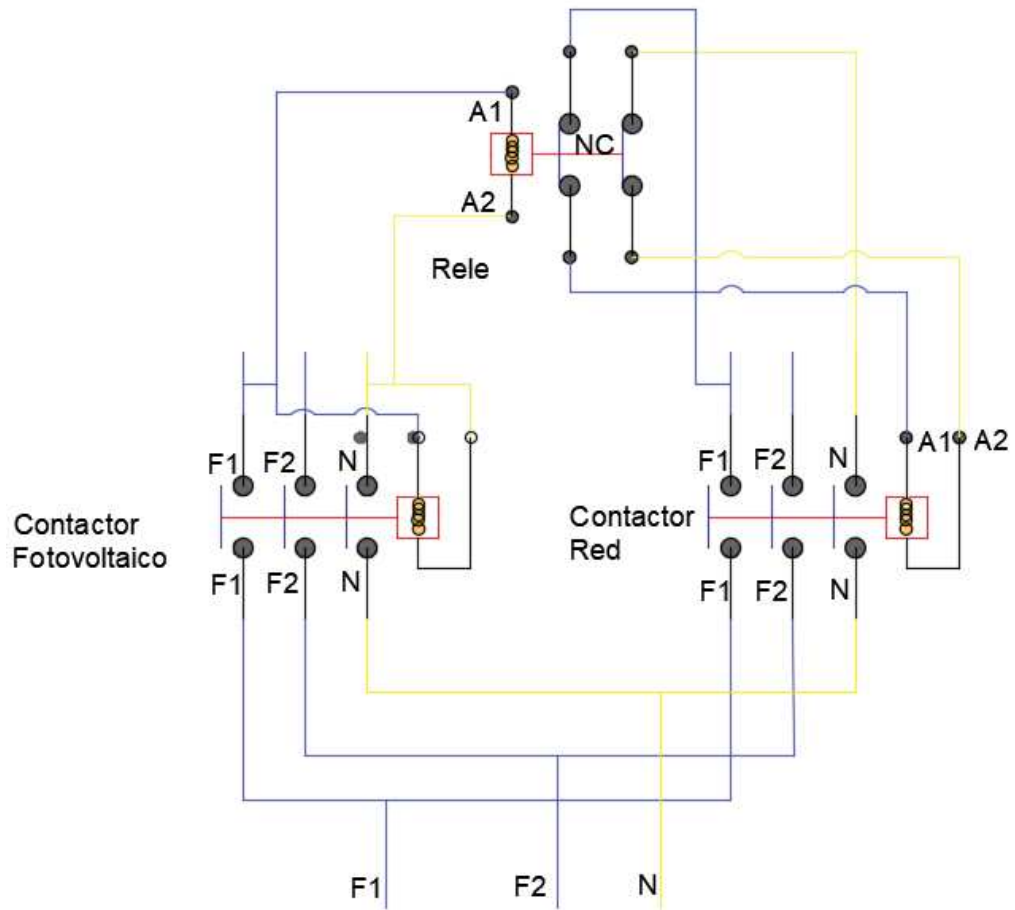
## Anexo 4 Soporte para los paneles

Diseño de la estructura para el soporte de los paneles solares sus dimensiones están dadas en milímetros.



Fuente: (Bernal, 2021)

## Anexo 5 Diagrama Sistema de transferencia de carga



Fuente (Bernal, 2021)

Anexo 6 Certificado de aprobación la Fundación Iluminar



CERTIFICADO Nro. FI-DE-2021-0014-CE

Cuenca, 07 de julio de 2021.

**ASUNTO:** Certificado de desarrollo de Prácticas Pre profesionales.

A quien corresponda:

En calidad de Director Ejecutivo de la Fundación Iluminar Luz y Color para Cuenca, CERTIFICO que:

El Sr. Luis Esteban Bernal Bernal con número de cedula 0106635451 a concluido con su trabajo de titulación de acuerdo a los parámetros requeridos por la Fundación Iluminar Luz y Color para Cuenca, correspondiente al “**Desarrollo del diseño del Sistema Fotovoltaico para la Iluminación Ornamental de la iglesia de Turi -Cuenca- Ecuador**”, demostrando total compromiso y responsabilidad con el proyecto.

De esta manera se da por concluido y aprobado por parte de la Fundación Iluminar el trabajo de titulación.

Particular que comunico para los fines pertinentes y autorizo el uso de este certificado que considere pertinente.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

**RICARDO DAVID MEDINA  
VELECELA**

Dr. Ing. Ricardo Median V, PhD

DIRECTOR EJECUTIVO

**FUNDACIÓN ILUMINAR LUZ Y COLOR PARA CUENCA**

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Luis Esteban Bernal Bernal** portador de la cédula de ciudadanía N° 016635451. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Diseño del sistema fotovoltaico para la iluminación ornamental de la iglesia Turi-Cuenca**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco 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; autorizo 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, **9 de agosto de 2021**

F: 

Luis Esteban Bernal Bernal

0106635451