

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**INCORPORACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS AL CIRCUITO  
DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachiller en  
Ciencias con mención en Ingeniería Civil**

**AUTORES:**

Alvaro Armando Gamarra Tupac Yupanqui

Francisco Enrique Godiño Vilchez

Eduardo Daniel Huaihua Rojas

Daniel Ivan Huaman Izquierdo

Jeampier Ernesto Villavicencio Vilcapoma

**ASESOR:**

Diego Alfredo Fuentes Hurtado

Lima, diciembre, 2021

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo el diseño y dimensionamiento de un sistema de paneles fotovoltaicos para el caso de un edificio mixto en el distrito de Cusco en Wánchaq con la finalidad de poder brindar energía eléctrica para el funcionamiento de las iluminarias de las zonas comunes interiores y exteriores del edificio de cuatro pisos. La opción de usar la energía solar, para producir energía eléctrica, es una alternativa muy viable para frenar el avance del cambio climático y los efectos negativos hacia el medio ambiente.

Antes de comenzar con el dimensionamiento, se definen los conceptos relacionados a la estructura interna de los sistemas fotovoltaicos, la tipología de los paneles, los principales componentes de este sistema y se analizan las principales definiciones conceptuales y de diseño provenientes de investigaciones pasadas.

Luego, se desarrollan los cálculos para obtener las dimensiones del sistema de paneles fotovoltaicos y las especificaciones técnicas de los diferentes componentes de este sistema. De igual forma, se realizó el cálculo del conductor y, de la inclinación, sombras y distancia de paneles. Además, se desarrolla el análisis económico del proyecto detallando la marca y costo de cada componente elegido. Así mismo, se realizó un análisis de viabilidad económica.

En el capítulo final, se detallan las conclusiones a las que se llegaron, verificando el cumplimiento del objetivo principal y específico. Además, se detallan las conclusiones en cuanto a los beneficios, usos y costo del proyecto.

# Índice

Capítulo 1: Generalidades.....	1
1.1.    Introducción.....	1
1.2.    Justificación.....	1
1.3.    Objetivos.....	2
1.3.1.    Objetivo principal.....	2
1.3.2.    Objetivos secundarios.....	2
1.4.    Metodología.....	2
Capítulo 2: Revisión de Literatura.....	4
2.1.    Energía Solar.....	4
2.2.    Fundamentos de celdas fotovoltaicas.....	5
2.2.1.    Célula fotovoltaica.....	5
2.2.2.    Tipos de células fotovoltaicas.....	8
2.3.    Tipos de Sistemas fotovoltaicos.....	8
2.3.1.    Sistemas fotovoltaicos autónomos.....	8
2.3.2.    Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	9
2.3.3.    Sistemas fotovoltaicos híbridos.....	10
2.4.    Tipos de Sistemas fotovoltaicos.....	11
2.5.    Estudios previos.....	15
2.5.1.    Conceptos.....	15
2.5.2.    Diseño.....	16
Capítulo 3: Caso de estudio.....	19
3.1.    Descripción del caso de estudio.....	19
3.1.1.    Ubicación de la edificación.....	19
3.1.2.    Descripción de la edificación.....	20
3.1.3.    Alcances del trabajo de investigación.....	20
3.2.    Diseño del sistema fotovoltaico.....	20
3.2.1.    Cálculo de la radiación global.....	20
3.2.1.1.    Datos de ubicación y orientación.....	21
3.2.1.2.    Consumo de la edificación.....	21
3.2.1.3.    Cálculo de irradiación.....	22
3.2.1.4.    Cálculo del ángulo de declinación de la tierra.....	24
3.2.1.5.    Cálculo del ángulo horario.....	24
3.2.1.6.    Cálculo proporción de radiación sobre la superficie inclinada.....	25
3.2.1.7.    Cálculo del valor de la relación de distancia solar.....	25

3.2.1.8. Cálculo de la radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre .....	25
3.2.1.9. Cálculo del índice de claridad .....	26
3.2.1.10. Cálculo de la relación de la radiación solar difusa con la radiación media diaria .....	28
3.2.1.11. Cálculo de la relación de la radiación solar inclinada por día y la radiación global horizontal diaria .....	28
3.2.1.12. Cálculo de la radiación diaria global mensual promedio sobre una superficie inclinada .....	29
3.2.2. Cálculo y diseño de los componentes del sistema fotovoltaico autónomo .....	29
3.2.2.1. Cálculo de paneles .....	29
3.2.2.2. Cálculo del número de paneles .....	30
3.2.2.3. Cálculo del controlador de carga MPPT .....	32
3.2.2.4. Cálculo de baterías .....	32
3.2.2.5. Cálculo del inversor DC/AC: .....	34
3.2.2.6. Cálculo del conductor .....	35
3.2.2.7. Cálculo de inclinación, sombras y distancia entre paneles .....	38
Capítulo 4: Análisis económico .....	39
4.1. Presupuesto del proyecto .....	39
4.2. Viabilidad económica .....	41
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones. ....	43
Bibliografía .....	45
ANEXOS .....	48
ANEXO 01. Plano de diseño del Sistema de Paneles FV .....	49
ANEXO 02. Ficha técnica de los Paneles Solares.....	51
ANEXO 03. Ficha técnica de los Controladores Victron Energy .....	53
ANEXO 04. Ficha técnica de la batería GEL Tensite .....	56
ANEXO 05. Ficha Técnica Inversor MUST SOLAR .....	60

## Índice de tablas

Tabla N° 01. Cálculo de consumo diario de iluminarias.....	22
Tabla N° 02. Caídas de tensiones máximas.....	35
Tabla N° 03. Presupuesto detallado del proyecto. ....	41



## Índice de figuras

Figura N° 01: Esquema de una celda fotovoltaica. ....	6
Figura N° 02. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo. ....	9
Figura N° 03. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red. ....	10
Figura N° 04. Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido.....	11
Figura N° 05. Módulos de panel solar.....	13
Figura N° 06. Inversor Must 1000W 12V. ....	13
Figura N° 07. Controlador de carga MPPT 250V 100A 48V LCD. ....	14
Figura N° 08. Batería AGM 12V 100Ah. ....	14
Figura N° 09. Mapa de ubicación del proyecto.....	19
Figura N° 10. Mapa de ubicación del proyecto.....	19
Figura N° 11. Temperatura mínima en Cusco. ....	22
Figura N° 12. Temperatura máxima en Cusco. ....	23
Figura N° 13. Mapa de energía solar incidente diaria del Cusco. ....	27
Figura N° 14. Plano de conexión de los paneles en paralelo. ....	31
Figura N°15. Plano de conexión de las baterías en paralelo.....	34
Figura N°16. Principales características del panel solar.....	39
Figura N°17. Principales características del controlador. ....	40
Figura N°18. Principales características de la batería.....	40
Figura N°19. Principales características del inversor.....	41

# **Capítulo 1: Generalidades**

## **1.1. Introducción**

La implementación de energía sostenible se ha convertido en un objetivo prioritario para todo el mundo con la finalidad de prevenir y frenar los cambios climáticos. La energía solar se presenta como una alternativa para solucionar este problema, al ser una energía abundante y versátil para usar (Smets et al.,2015).

Los sistemas fotovoltaicos son un conjunto de elementos, denominados células solares o fotovoltaicas que se distribuyen en paneles que transforman la energía solar en energía eléctrica. Los paneles cuentan con un tipo de material capaz de recibir el flujo de fotones provenientes de la luz solar y provocar corriente eléctrica, este fenómeno es denominado efecto fotovoltaico.

La necesidad en el mundo de renovar la energía que utilizamos sin dañar el medio ambiente ha aumentado y la energía solar surge como una alternativa atractiva. La energía del Sol ha inducido en el origen de las mayores fuentes de energía renovables como la eólica, hidroeléctrica, biomasa, de las olas y corrientes marinas (Espejo, 2004).

## **1.2. Justificación**

Los efectos del cambio climático en el mundo se encuentran, a día de hoy, entre las principales prioridades de la sociedad. La generación de energía se basa en métodos tradicionales, los cuales emiten altas cantidades de contaminantes que afectan al medio ambiente y que no contribuyen en la lucha por la reducción de cambio climático.

Debido a ello, el presente trabajo se enfoca en la implementación de paneles fotovoltaicos en viviendas como una alternativa para el suministro de energía eléctrica que aprovecha los recursos renovables, teniendo así, un menor impacto ambiental. Además, se busca medir la viabilidad de la incorporación de paneles fotovoltaicos en edificaciones a nivel no rural.

### **1.3. Objetivos**

#### 1.3.1. Objetivo principal

Diseñar y dimensionar un sistema de paneles fotovoltaicos en un edificio multifamiliar ubicado en Cusco.

#### 1.3.2. Objetivos secundarios

- Fomentar la difusión e investigación de fuentes de energía renovable solares.
- Exponer las ventajas de introducir un sistema de energía renovable solar en viviendas multifamiliares.
- Analizar la viabilidad económica en la implementación de sistemas de paneles fotovoltaicos en la región de Cusco.
- Dimensionar los principales elementos que componen la instalación de paneles fotovoltaicos en un edificio multifamiliar.

### **1.4. Metodología**

El presente trabajo de investigación tendrá como punto de partida la revisión de la literatura; se incluirá el desarrollo del marco teórico y citará las conclusiones más relevantes de diferentes tesis referentes al diseño de sistemas fotovoltaicos orientados al uso de viviendas. Asimismo, se incluirá artículos que describen la viabilidad de esta tecnología frente a otros sistemas renovables alternos en el contexto actual.

Definido el marco teórico, se definirá el diagrama de flujo que comprende el procedimiento para el diseño de sistema fotovoltaico. En primer lugar, se determinará la carga instalada de los circuitos que serán alimentados por el sistema fotovoltaico y se calcula la energía consumida en base a las horas que se utiliza los circuitos conectados.



En base a la energía consumida por hora, se seleccionará el módulo fotovoltaico y el inversor óptimo en cuanto a costos y tiempo de vida útil. Luego, con los datos de su ficha técnica y la energía requerida, se calculará la cantidad adecuada de paneles solares. Adicionalmente, se diseñará el arreglo de los paneles dependiendo de las especificaciones de entrada - salida del inversor y panel.

Puesto que los aparatos eléctricos en su mayoría requieren de corriente alterna para su correcto funcionamiento, se procede a calcular el número de inversores cuya finalidad es transformar la corriente continua en alterna.

Se procederá a calcular el área total que ocupan los paneles solares y verificar si no excede el área disponible; caso contrario se selecciona otro módulo FV e inversor; por lo tanto, se repetirá los pasos siguientes del cálculo del número de paneles solares y su arreglo. Si el área es adecuada, se procederá a calcular la inclinación, sombras y distancias entre paneles óptimas para un correcto uso y aprovechamiento del sistema.

Se diseñará el diagrama de distribución e instalación eléctrica de los paneles FV. Luego, se determinará el material y calibre de los conductores tomando como referencia al Código Nacional de Electricidad. Ello indica que los conductores están en función a la magnitud de la corriente eléctrica que circula, voltaje, caídas de tensión y temperatura de trabajo. Para finalizar el diseño del sistema eléctrico del sistema, se trazará el diagrama unifilar. Adicionalmente, se realizará un detalle del método de anclaje de los paneles FV sobre la superficie donde estarán posicionados.

## Capítulo 2: Revisión de Literatura

### 2.1. Energía Solar

En la actualidad, existen una gran variedad de dispositivos que utilizan la electricidad para funcionar; es por ello que se debe conocer cuáles son las fuentes que generan la energía eléctrica que alimenta a las viviendas; lo cual se evidencia en el incremento de demanda eléctrica en los últimos años. A nivel global, la principal fuente de energía es la que se extrae de fósiles como el petróleo y el gas natural; sin embargo, la extracción de esta genera un alto impacto ambiental que afecta a el cambio climático. Asimismo, esta fuente de energía se agota con el tiempo, en consecuencia, es de vital importancia la búsqueda de nuevas fuentes de energía que sean renovables y que no genere un impacto desfavorable en el medio ambiente para abarcar el incremento de demanda eléctrica.

Según Vásquez et al. (2017), se han desarrollado diversas fuentes de energía basándose en recursos energéticos renovables, entre las que se encuentran la energía solar, energía eólica, energía de biomasa, energía hidráulica, energía mareomotriz, energía por captación de carbono y energía geotérmica. Sin embargo, no todas estas fuentes de energía son aprovechadas en nuestro país. En el Perú, según el Ministerio de Energía y Minas, el 70% de la energía producida en el país proviene de las centrales hidroeléctricas, ya que nuestro país cuenta con 3 cuencas hidrográficas; mientras que el 30 % restante proviene de la energía térmica.

Sin embargo, de acuerdo a Días & Carmona, existen problemas asociados a las centrales hidroeléctricas y a las centrales térmicas. La primera, depende del caudal de agua que ingresa; es por ello que ante el cambio climático se generan que las sequías son más prolongadas, y la producción no se debe considerar estable a lo largo del tiempo. La segunda, depende del hecho que los combustibles fósiles del cual se extrae la energía no son una fuente ilimitada y que se han explotado de manera acelerada en la última década. Ante estas problemáticas, la energía

solar se plantea como una posible solución que se ha desarrollado para optimizar el proceso de captación de energía.

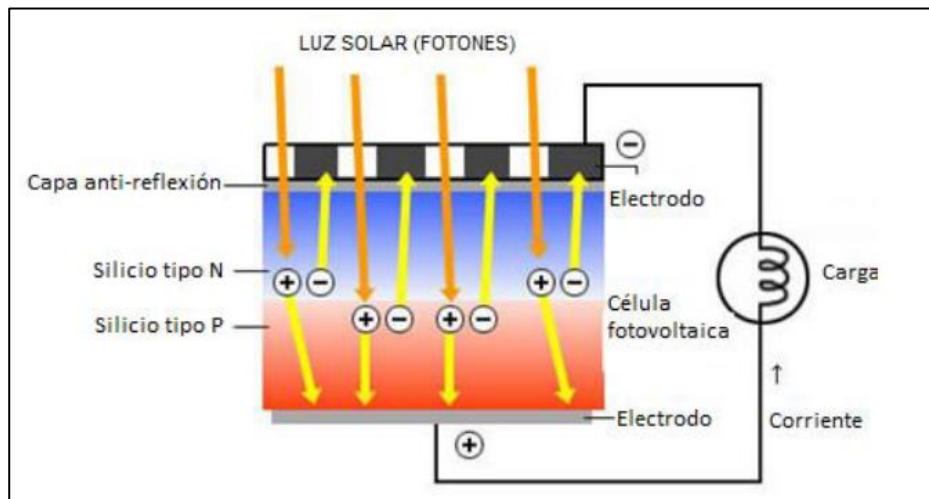
La energía solar es una fuente de energía abundante y presente en cualquier parte del planeta; si el aprovechamiento de la energía solar se realiza de manera correcta puede llegar a representar 20 veces la energía que se almacena en las reservas de los combustibles fósiles de la Tierra. Según Santamarta (2004), la energía solar es una fuente de energía difusa que resulta difícil de poder aprovechar la máxima radiación que llega a la superficie. El aprovechamiento de este recurso se genera mediante la recolección de radiación y transformándola en energía térmica o eléctrica para ser utilizada, este proceso se puede dar de manera indirecta o directa. En la primera, se obtiene al captar la radiación para calentar un fluido, que genere vapor y que este provoque el movimiento de un alternador que genere electricidad. En la segunda, se obtiene la recolección de la irradiación mediante el uso de celdas solares o también denominadas fotovoltaicas. El proceso de transformación de energía solar a energía eléctrica se da debido al efecto fotovoltaico descubierto por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel en 1839.

## **2.2. Fundamentos de celdas fotovoltaicas**

### **2.2.1. Célula fotovoltaica**

El elemento fundamental de las instalaciones de energía solar son los generadores de energía, las cuales se denomina células solares o fotovoltaica, que se encargan de la transformación directa de energía solar a energía eléctrica sin producir un impacto negativo al medio ambiente a corto o largo plazo, esta transformación es el resultado del efecto fotovoltaico. La celda fotovoltaica se comporta como un diodo, que está conformado por una lámina delgada de un material semiconductor tipo N y otra lámina del mismo material con un espesor mayor. En la que la lámina del tipo N es la que se expone a la radiación, y la lámina tipo P debe estar situada en la parte opuesta sin que exista contacto directo con la radiación. Al

unir estas dos láminas se genera un campo eléctrico con una unión tipo P – N; ya que cuando la radiación solar contacta a la lámina tipo N, esta libera fotones que llevan electrones desde la zona N hacia la zona tipo P y genera un flujo de electrones que se evidencia como corriente eléctrica continua. A continuación, la figura 1 muestra el esquema básico de una célula fotovoltaica.



**Figura N° 01: Esquema de una celda fotovoltaica.**

De acuerdo a Martínez Cermeño (2015), uno de los materiales frecuentemente usados en las células fotovoltaicas es el silicio, que dependiendo de su configuración atómica puede resultar con menor o mayor eficiencia al momento de transformar la energía. Dentro de las configuraciones de silicio se encuentra el silicio monocristalino, policristalino y amorfo. El primero, es de las configuraciones más comerciales debido a que ofrecen el mayor rendimiento en comparación al resto de células solares, que se encuentra entre un 15% y 18%; la fabricación de este material se da a partir de un cristal de silicio extraído de un baño de silicio fundido. La segunda, presenta un costo de fabricación menor a comparación del silicio monocristalino; sin embargo, el rendimiento obtenido es próximo al del silicio monocristalino y se encuentra en un rango entre el 12% y 14%. La tercera, tiene una fabricación más sencilla y barata; sin

embargo, estas se degradan con mayor facilidad que las anteriores y el rendimiento es inferior al 10%, por lo que su uso es de menor proporción.

Para realizar un adecuado diseño de paneles fotovoltaicos, se debe analizar la parte fundamental como la célula fotovoltaica y los parámetros que definirán la cantidad de corriente. El factor de forma (FF) de una célula fotovoltaico se define como el cociente entre la máxima potencia que puede entregar la célula y el producto de la tensión a circuito abierto con la corriente de corto circuito; asimismo, los valores típicos de factor de forma son de 0.7 o 0.8. La siguiente ecuación representa el factor de forma:

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{OC} * I_{SC}}$$

Donde:

- $FF$ : Factor de forma de una célula fotovoltaica.
- $V_m$ : Tensión máxima que puede entregar la célula fotovoltaica.
- $I_m$ : Intensidad de corriente máxima que puede entregar la célula fotovoltaica.
- $V_{OC}$ : Máxima tensión obtenida de los extremos de la célula fotovoltaica cuando no está conectada a ninguna carga.
- $I_{SC}$ : Máximo valor de corriente que puede circular por la célula fotovoltaica, que se da cuando los terminales se encuentran en cortocircuito.

El conjunto de células fotovoltaicas conforma un panel fotovoltaico, que se caracterizará por tener células con los mismos parámetros eléctricos para que no se produzcan descompensaciones que perjudiquen al funcionamiento. Se realizarán conexiones en serie o paralelo hasta conseguir la tensión y corriente adecuada para el diseño.

### 2.2.2. Tipos de células fotovoltaicas

Se pueden clasificar las células FV según el material que se empleó en su construcción, entre los cuales podemos encontrar: células monocristalinas, formadas por un tipo de cristal y con rendimiento por encima del 30%; células policristalinas, elaboradas a partir de un agregado de materiales como el silicio con Arsénico y galio; y celular amorfas que no cuentan con estructura cristalina y obtienen rendimientos del 6%.

### 2.3. Tipos de Sistemas fotovoltaicos

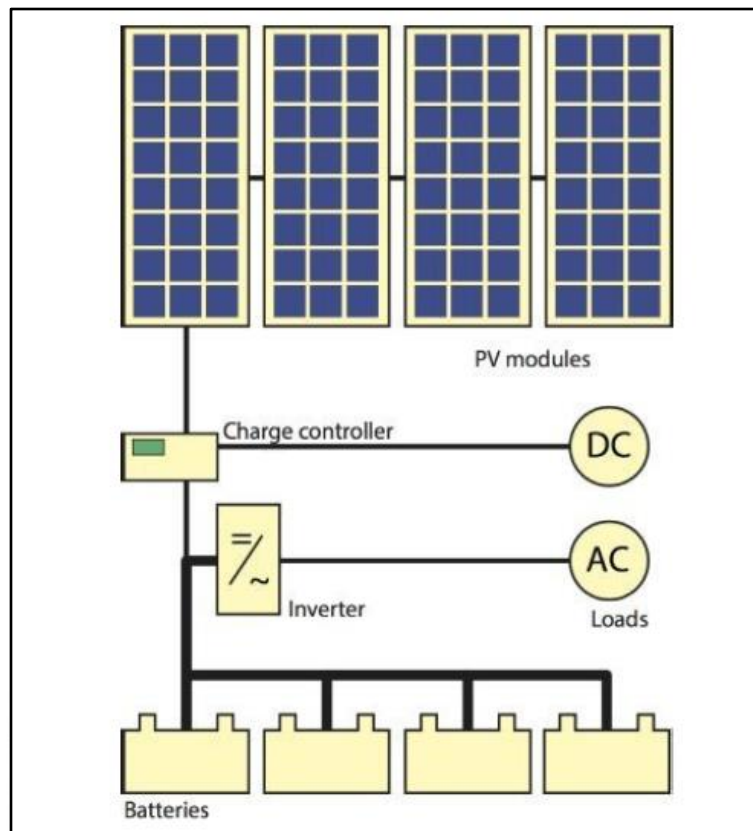
Los sistemas fotovoltaicos pueden ser pequeños y simples, estos están compuestos de sólo un módulo fotovoltaico y una carga. Además, los sistemas fotovoltaicos se pueden construir como grandes centrales hidroeléctricas con un pico de potencia de varios MW. Cabe mencionar que estos deben estar conectados a una red eléctrica. Un ejemplo de su aplicación se da en las viviendas residenciales. Si la vivienda no se encuentra conectada a una red eléctrica, se requerirá que el sistema fotovoltaico esté activo día y noche.

La clasificación de los tipos de sistemas fotovoltaicos dependerá de la configuración del sistema, con lo que se distinguen tres tipos de sistemas: los autónomos, los conectados a la red y los híbridos.

#### 2.3.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos

Los sistemas fotovoltaicos autónomos, también conocidos como sistemas fuera de red, dependen únicamente de la energía solar. Consisten en módulos fotovoltaicos y una carga solamente la cual puede incluir baterías para el almacenamiento de energía. En caso de que se utilicen baterías, estas se incluyen a los controladores de carga que desconectan las baterías de los módulos fotovoltaicos cuando estos están completamente cargadas. Cabe mencionar que las baterías deben tener la suficiente capacidad para almacenar la energía que se almacena en

el día para usada por la noche y en periodos de tiempo con algunos imprevistos (Smets et al., 2015).



**Figura N° 02. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo.**

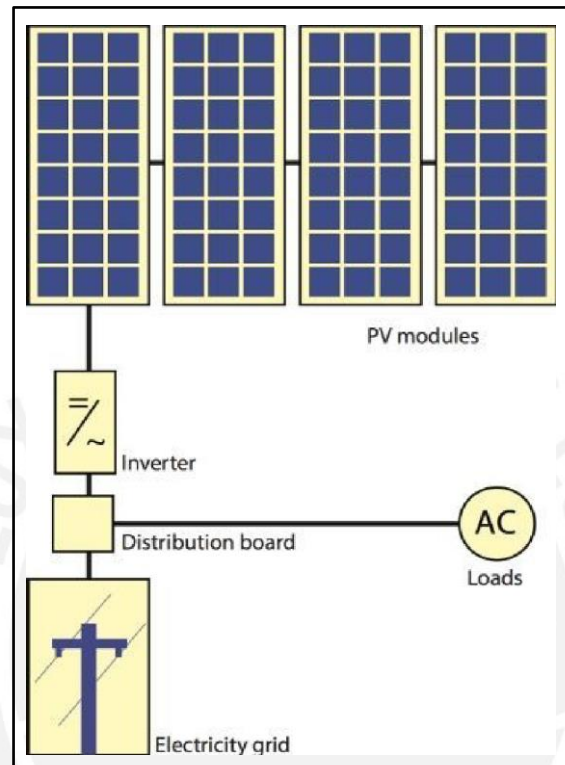
Fuente: Smets et al., 2015.

### 2.3.2. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Estos sistemas se encuentran conectados a la red a través de inversores que convierten la corriente continua (CC) en electricidad de corriente alterna (CA). En sistemas pequeños, el inversor se conecta al cuadro de distribución. Es ahí desde donde la energía fotovoltaica se transfiere a la red eléctrica o a los aparatos de corriente alterna. Un ejemplo de lo último mencionado es su aplicación dentro de las viviendas.

En principio, estos sistemas no necesitan una batería. Esto es debido que la red, a la que están conectados, funciona como amortiguador al que se transporta una sobreoferta de electricidad fotovoltaica. Es claro que la red eléctrica también suministra electricidad cuando

la generación de energía fotovoltaica es insuficiente. Sin embargo, en la actualidad se pueden encontrar más sistemas conectados a la red que contienen baterías para aumentar la cantidad de electricidad generada por la energía fotovoltaica que consume el dueño de casa (Smets et al., 2015).



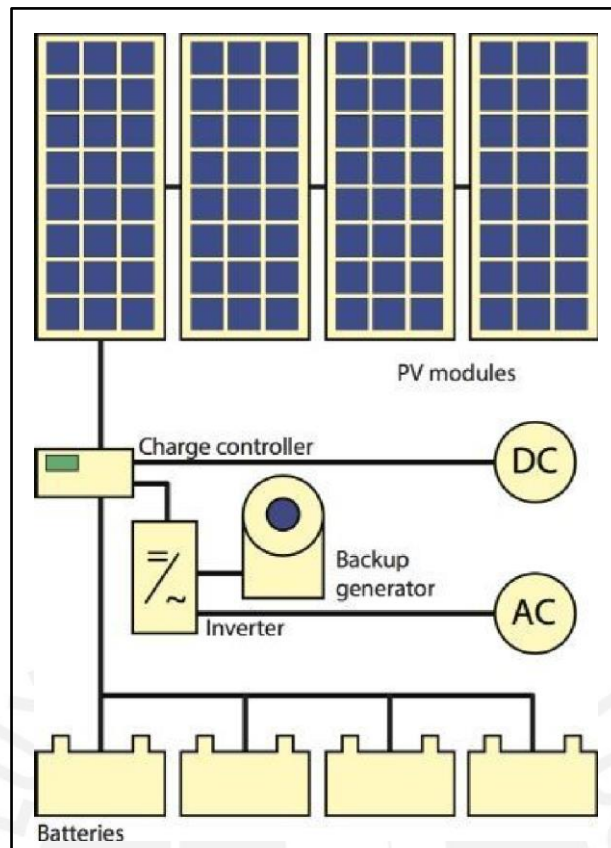
**Figura N° 03. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.**

Fuente: Smets et al., 2015.

### 2.3.3. Sistemas fotovoltaicos híbridos

Este sistema se caracteriza por combinar métodos como el diésel, gas o generador eólico para poder generar electricidad. Estos sistemas son más complejos al requerir controles más sofisticados que los sistemas individuales para poder optimizar los diferentes métodos empleados. Un ejemplo de ello es el uso combinado de los sistemas fotovoltaicos con el sistema diésel. Dentro de este sistema, el motor del sistema diésel debe arrancarse cuando la batería alcance un motor de descarga determinado y detenerse cuando alcance un estado de carga adecuado. El generador de respaldo debe ser usado con el fin de recargar únicamente las baterías o también para suministrar la carga. En la Figura 2.6., se muestra una representación esquemática de este sistema (Smets et al.,2015).





**Figura N° 04. Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido.**

Fuente: Smets et al., 2015.

#### **2.4. Tipos de Sistemas fotovoltaicos**

Las celdas solares entregan una cantidad limitada de energía debido a su tamaño limitado y esta no es suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Se conectan varias células solares entre sí, formando un módulo fotovoltaico, para poder usar esta energía solar percibida en los dispositivos que requieran de un voltaje y/o corriente particular para su funcionamiento. Con la finalidad de lograr la generación de electricidad a una gran escala, los paneles deben estar conectados entre sí en un campo fotovoltaico (Smets et al.,2015).

Según Smets et al. (2015), para lograr un correcto funcionamiento, se requieren de ciertos componentes que se denominan Equilibrio del sistema (BOS). Cabe mencionar que los componentes necesarios dependen si el sistema está conectado a la red eléctrica o es autónomo. Dentro de los principales componentes BOS podemos encontrar a los siguientes:

- **Una estructura de montaje:** Esta estructura fija los módulos y los orienta hacia el sol.
- **Almacenamiento de energía:** Su función principal es asegurar que el sistema reparta la energía durante la noche o en tiempos donde se presente algún problema.
- **Convertidores DC de corriente continua:** Tienen la función de convertir la salida del módulo, que tendrá un voltaje variable (dependiendo de la hora del día y las condiciones climáticas), a un voltaje de salida compatible que pueda ser usado como entrada para un inversor.
- **Inversores:** Se utilizan para poder convertir la electricidad de corriente continua en electricidad de corriente alterna que pueda alimentar a la red eléctrica en los sistemas conectados a red y para estar conectados a las baterías en los sistemas autónomos.
- **Controladores de carga:** Se utilizan en sistemas independientes para controlar la carga y también la descarga de la batería. Evita que las baterías se sobrecarguen a través del campo fotovoltaico por las noches.
- **Cables:** Son usados para conectar los diversos componentes del sistema fotovoltaico entre sí y a la carga eléctrica. Es muy importante elegir los cables que cumplan con el espesor adecuado para minimizar las pérdidas de resistencia.
- **Baterías:** Estos componentes son muy importantes tanto para el sistema fotovoltaico como para la energía renovable en general. Las baterías son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química en eléctrica. En el caso de los

sistemas fotovoltaicos usaremos las baterías secundarias. Estas transforman la energía química en energía eléctrica de forma reversible. Esto quiere decir que puede ser recargado cuando se utiliza un potencial excesivo. Dicho de otra forma, el exceso de energía eléctrica se almacena en las baterías secundarias en forma de energía química.

A continuación, se muestran en las siguientes figuras los principales componentes de un sistema fotovoltaico.



**Figura N° 05. Módulos de panel solar.**

Fuente: AutoSolar, 2021.



**Figura N° 06. Inversor Must 1000W 12V.**

Fuente: AutoSolar, 2021.



**Figura N° 07. Controlador de carga MPPT 250V 100A 48V LCD.**  
Fuente: AutoSolar, 2021.



**Figura N° 08. Batería AGM 12V 100Ah.**  
Fuente: AutoSolar, 2021.

## 2.5. Estudios previos

A partir de las diferentes fuentes bibliográficas, que se obtuvo en la investigación, se optó por dividir las entre conceptos y diseño. En este apartado se detalla la importancia de cada estudio para nuestro trabajo de investigación.

### 2.5.1. Conceptos

En este apartado se explica los conceptos, beneficios, riesgos del sistema fotovoltaico aplicado a viviendas y edificios multifamiliares.

**“Estudio técnico económico de la incorporación de Instalaciones para el ahorro energético en una vivienda multifamiliar”** (*Maitane Espierriz Crespo, Jorge Oderiz Ezcurdia. 2013*)

Esta tesis tiene como objetivo la realización de un informe técnico sobre la viabilidad socioeconómica del suministro eléctrico mediante energías renovables a implantar en una vivienda ya construida en Navarra, España. A partir del estudio técnico realizado, donde se hizo una comparación entre la energía solar fotovoltaica y la caldera de biomasa, se llegaron a diversas conclusiones donde resalta el sustento económico en la instalación de los fotovoltaicos. Se muestra que la inversión se recuperará en un plazo máximo de 10 años, puesto que pasado ese tiempo el rendimiento de estos baja notoriamente.

**“Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano”** (*Carlos Sánchez Pacheco. 2009*)

En este trabajo, se exponen las diferentes tecnologías existentes en el mercado. Los sistemas fotovoltaicos, que son aplicados al uso de viviendas residenciales en un entorno urbano, donde los principales aspectos que condicionan su uso son la limitación del espacio, la

eficiencia del sistema y la gestión energética que presenta. Este trabajo detalla la gran inversión requerida para el uso de los sistemas fotovoltaicos.

Entre las principales ventajas, se detalla la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios residenciales que suponen un apoyo para cubrir las necesidades de consumo de los edificios. Se aprovechan superficies no utilizadas en cubiertas; además, se ahorran materiales de revestimiento (telas, vidrios, cubiertas, etc.) cuando el sistema se encuentre realmente integrado.

**“Estudio de factibilidad para la incorporación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio RTV Ecuador”** (*Fátima Mora. 2011*)

En esta tesis se realizó un estudio de factibilidad del desarrollo de los sistemas fotovoltaicos en el edificio RTV Ecuador, destacando sus ventajas ambientales: la no contaminación, el no consumo de combustibles fósiles, la no generación de residuos, la no producción de ruido y el aprovechamiento de esta energía inagotable. Entre las ventajas socioeconómicas, se destacan: la facilidad de instalación del sistema, el bajo mantenimiento requerido, la larga vida útil, su resistencia a condiciones climáticas extremas y su tolerancia al aumento de potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

#### 2.5.2. Diseño

**“Diseño de un sistema solar fotovoltaico, T.M. Molina de Segura (Murcia)”** (*Lorenzo Martínez Cermeño. 2015*)

El objetivo de esta tesis consiste en el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a una red sobre azotea de una nave industrial. Se puede apreciar que específicamente desarrolla un diseño que cumple con las normas establecidas en España. Además de esto, se desarrolló un estudio de producción energética final y comprobación del cumplimiento de las necesidades de la nave. Asimismo, se realizó un estudio de producción horaria por unidad de superficie a

lo largo del día medio de horas de sol. Y finalmente, un análisis económico para reconocer la viabilidad de la instalación fotovoltaica.

Este estudio muestra un diseño detallado del panel fotovoltaico a partir de los diferentes fabricantes y la selección de un sistema óptimo desde una solución técnica y económica, cumpliendo con los aspectos técnicos, normativos y ambientales vigentes. Asimismo, detalla los avances tecnológicos en torno al sistema solar fotovoltaico y cómo este tendría un efecto positivo en la producción de energía. Se realiza una comparación económica entre el costo del consumo de energía eléctrica y el presupuesto del sistema solar fotovoltaico.

**“Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la universidad tecnológica de Salamanca”** (Humberto Ramos López, Rafael Luna Puente. 2014)

Esta tesis detalla el cálculo de un sistema fotovoltaico que permita generar corriente eléctrica, con la característica de proporcionar sombra en el área de estacionamiento para los vehículos del personal administrativo y docentes en la universidad tecnológica de Salamanca. En la tesis, se realizó la medición de la irradiancia de la Universidad, siendo esta la única medición realizada en su región en la cual la carga media registrada por comisión federal de electricidad es la suficiente y garantiza el abasto de energía en el edificio.

**“Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco”** (Francisco Loaeza, César Ramiro, Julio Tenorio. 2012)

Esta tesis tuvo como finalidad proponer la metodología de diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la CFE para el uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco. Asimismo, se realizó un estudio de viabilidad económica que incluye el costo de mano de obra, equipos y tiempo de amortización del proyecto. Se concluye que el

tiempo de amortización para un sistema FV con capacidad de generar 1723.6KW-h es de 11 años con 6 meses. Cabe resaltar que este tiempo dependerá del costo kW-h de la zona en donde se realice el proyecto.

**“Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en vivienda unifamiliar en el distrito de Tarapoto – San Martín - 2019”** (Percy Arévalo, Eddy Horna, Carlos Reyes, Elmer Rojas. 2019)

Se propuso el diseño de un sistema fotovoltaico para generar electricidad de una vivienda unifamiliar del distrito de Tarapoto, con paneles solares de 330Wp, de 72 células de tipo policristalino, regular de 80A del tipo MPPT, baterías de gel de 48V x 85Ah y un inversor DC/AC de 3000 W. Para su diseño, se realizó una estimación del consumo energético para la iluminación con el software DIALux, del cual los datos de salida fueron la demanda máxima de potencia; y para el consumo de electrodomésticos se empleó los valores de OSINERGMIN. Asimismo, se determinó la radiación solar existente en el mes de menor insolación para la zona de estudio considerando su ubicación geográfica, siendo julio el mes determinante.

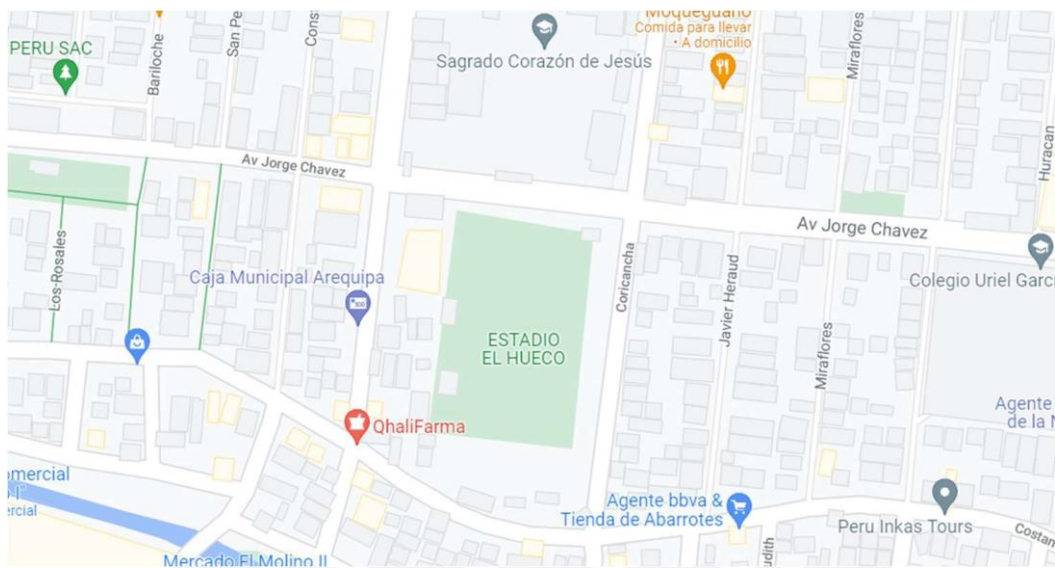


## Capítulo 3: Caso de estudio.

### 3.1. Descripción del caso de estudio

#### 3.1.1. Ubicación de la edificación

El proyecto se encuentra en el cruce de la Av. Jorge Chávez y Jirón Coricancha en el distrito de Wánchaq en la provincia de Cusco en Perú. A continuación, se adjunta las distintas vistas de planta de la zona del proyecto obtenidas del Google Maps y Google Earth.



**Figura N° 09. Mapa de ubicación del proyecto.**

Fuente: AutoSolar, 2021.



**Figura N° 10. Mapa de ubicación del proyecto.**

Fuente: Google Earth, 2021.

### 3.1.2. Descripción de la edificación

El proyecto comprende la construcción de un edificio de cuatro pisos para uso mixto. El primer nivel estará compuesto por tiendas y los tres niveles superiores serán destinados para departamentos, por lo que en total serán cuatro niveles. El proyecto no cuenta con sótanos. Adicionalmente, se contempla emplear un sistema de muros estructurales combinados con pórticos de concreto armado.

### 3.1.3. Alcances del trabajo de investigación

En el presente caso se desarrollará el diseño del sistema de paneles fotovoltaicos para la edificación. Se escogió diseñar un sistema fotovoltaico autónomo que cumpla con las demandas de consumo de las iluminarias de las zonas comunes interiores y exteriores del edificio. Además de ello, se detallará el presupuesto requerido según los costos de los elementos utilizados para la instalación de los componentes del sistema.

## **3.2. Diseño del sistema fotovoltaico**

### 3.2.1. Cálculo de la radiación global

Se realizarán diversos cálculos para hallar el consumo de energía eléctrica de las iluminarias de las zonas comunes interiores y exteriores del edificio mixto. Además, se calculará la radiación global se utilizarán las fórmulas de General Solar Position Calculations de NOAA Global Monitoring Division (2005). Se hallarán distintos valores que permitirán diseñar y seleccionar los componentes correctos del sistema fotovoltaico autónomo a instalarse.

### 3.2.1.1. Datos de ubicación y orientación

Ubicación: Wánchaq, Cusco, Perú

Coordenadas:

Latitud: 13°32'03.1" S

Longitud: 71°57'36.0" W

El campo fotovoltaico está dispuesto con las siguientes características:

Inclinación: 0°

Desorientación respecto al Norte: 0°

### 3.2.1.2. Consumo de la edificación

A continuación, se presentan la cantidad de focos en los diferentes ambientes y la potencia que se usará en cada uno de estos. Con los datos mencionados, se procederá a hallar el consumo diario ( $E_c$ ) en W-h. Además, se calculó la demanda máxima total de todos los elementos a los que se brindará energía eléctrica.

$$E_c = n * Pot * T$$

Donde:

$E_c$  = Consumo diario

$n$  = Cantidad de luminarias

$Pot$  = Potencia por aparato en Watts

$T$  = Tiempo de utilización en horas

Ambiente	Cantidad de luminarias	Potencia por aparato (W)	Carga instalada (W)	Demanda máxima (W)	Tiempo de utilizacion (h)	Ec (W-h)
Recepción	8	15	120	15	18	2160
Alumbrado hall y Escaleras nivel 1	2	15	30	15	12	360
Alumbrado hall y Escaleras nivel 2	4	15	60	15	12	720
Alumbrado hall y Escaleras nivel 3	4	15	60	15	12	720
Alumbrado hall y Escaleras nivel 4	4	15	60	15	12	720
Alumbrado exterior	20	50	1000	50	12	12000
<b>Total</b>			<b>1330</b>	<b>125</b>		<b>16680</b>

Tabla N° 01. Cálculo de consumo diario de iluminarias.

Fuente: Propia

El consumo diario de las iluminarias de las zonas comunes interiores y exteriores de la edificación es de 16680 Wh/d.

### 3.2.1.3. Cálculo de irradiación

Para la región de Cusco se tienen los siguientes datos de la temperatura anual promedio, de los cuales se utilizarán la máxima y la mínima.

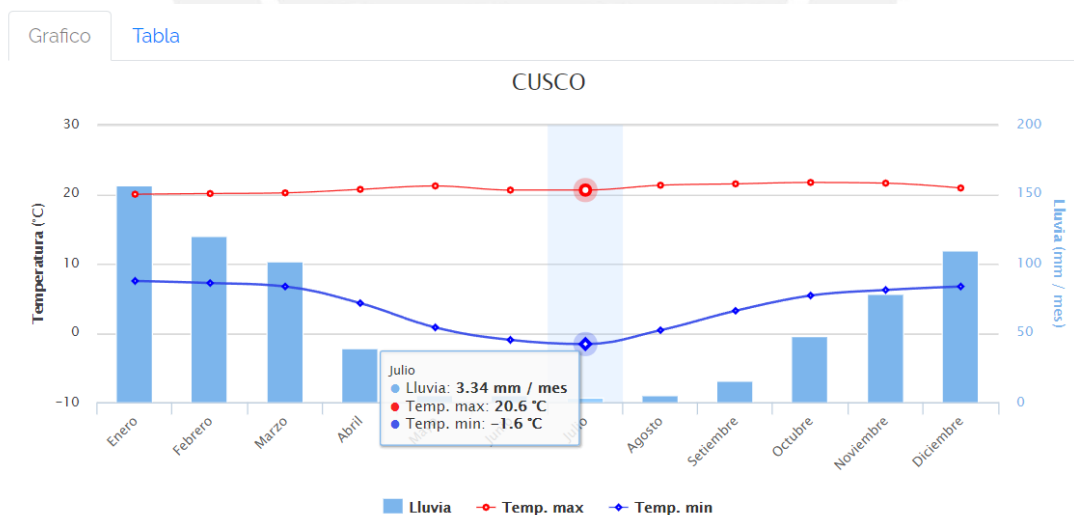
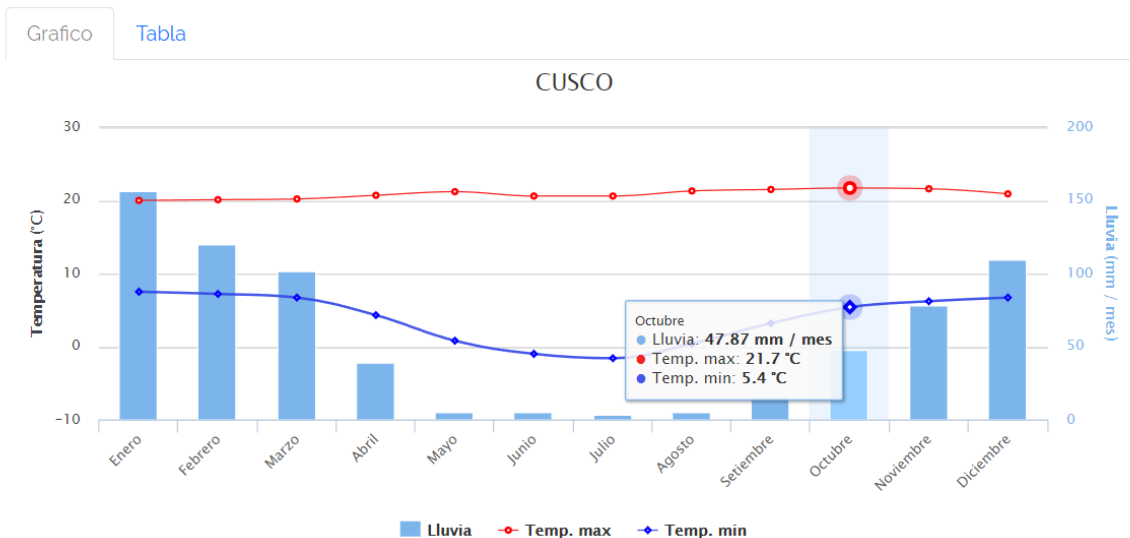


Figura N° 11. Temperatura mínima en Cusco.

Fuente: Senamhi, 2020.



**Figura N° 12. Temperatura máxima en Cusco.**

Fuente: Senamhi, 2020.

Como se puede observar en las Figuras N°11 y N°12, obtenidas de Senamhi (2020), la temperatura mínima fue de  $-1.6^{\circ}\text{C}$  en el mes de julio y la máxima fue de  $21.7^{\circ}\text{C}$  en el mes de octubre. No se cuentan con las fechas exacta de los días en los cuales se registraron estas temperaturas; sin embargo, se asumirá como fecha mínima el 30 de junio y como máxima el 1 de octubre para poder realizar los cálculos posteriores.

Se utilizarán los siguientes datos:

$$\beta = 15^{\circ} \text{ (ángulo de inclinación de la superficie)}$$

$$\varnothing = 6.50^{\circ} \text{ (latitu de Wánchaq, Cusco)}$$

$$nd = 168 \text{ (Número de día en el año: 30 de junio)}$$

$$\gamma = 0^{\circ} \text{ (ángulo azimut sobre la superficie)}$$

$$\alpha = 2 * \frac{nd - 1}{365} : \text{Posición angular de la tierra en órbita}$$

$$\alpha = 2.874 \text{ radianes}$$

#### 3.2.1.4. Cálculo del ángulo de declinación de la tierra

Para este cálculo, se utilizará la siguiente fórmula de NOAA Global Monitoring Division,

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 (\cos\alpha) + (0.070257)(\sen\alpha) - (0.006758) * (\cos2\alpha) + (0.000907)(\sen2\alpha) - 0.002697(\cos3\alpha) + (0.00148)(\sen3\alpha)\left(\frac{180}{\pi}\right)$$

Reemplazando los datos, se halló el ángulo de declinación de la tierra:

$$\begin{aligned} \delta = & (0.006918 - 0.399912 (\cos (2.8747)) + (0.070257)(\sen(2.8747)) - (0.006758) \\ & * (\cos2(2.8747)) + (0.000907)(\sen2(2.8747)) \\ & - 0.002697(\cos (3(2.8747))) + (0.00148)(\sen(3(2.8747)))\left(\frac{180}{\pi}\right) \end{aligned}$$

$$\delta = 23.369^\circ$$

#### 3.2.1.5. Cálculo del ángulo horario

Para este cálculo, se utilizará la siguiente fórmula de NOAA Global Monitoring Division,

A la salida del sol:

$$\cos(ws) = -\tan\phi \tan \delta$$

$$\rightarrow ws = 95.95^\circ$$

Cuando se pone el sol:

$$\cos(ws') = -\tan (\phi - \beta) \tan \delta$$

$$\rightarrow ws' = 89.35^\circ$$

Se utilizará el menor valor hallado que es  $ws' = 89.35^\circ$

### 3.2.1.6. Cálculo proporción de radiación sobre la superficie inclinada

Para hallar la proporción de radiación sobre la superficie inclinada se utilizará la siguiente fórmula:

$$Rb = (\cos(\varnothing - \beta) (\cos\delta) (\text{sen}ws')) \\ + \left(\frac{\pi}{180}\right) (ws') (\text{sen}(\varnothing - \beta)) (\text{sen}\delta) \\ / \left[ (\cos\varnothing) (\cos\delta) (\text{sen}ws) + \left(\frac{\pi}{180}\right) (ws) (\text{sen}\delta) (\text{sen}\varnothing) \right]$$

Reemplazando los valores hallados previamente, se obtiene:

$$Rb = 0.902$$

### 3.2.1.7. Cálculo del valor de la relación de distancia solar

Para hallar el valor de la relación de la distancia solar se utilizará la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{Ro}{R}\right)^2 = (1.0001 - 0.034221\cos\alpha + (0.00128)(\text{sen}\alpha) + 0.000719(\cos2\alpha) \\ + (0.000077)(\text{sen}2\alpha))$$

Reemplazando los valores hallados previamente, se obtiene el valor de la relación de distancia solar:

$$\left(\frac{Ro}{R}\right)^2 = 1.034$$

### 3.2.1.8. Cálculo de la radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre

Para hallar el valor de la radiación solar diaria fuera de la atmósfera, se utilizarán los siguientes datos y la siguiente fórmula:

El dato con el que se trabajará será la constante solar ( $I_0$ ) que es igual a 1367 W/m<sup>2</sup>

Entonces, presentamos la fórmula para el valor planteado:

$$Ho(n) = \left(\frac{24}{\pi}\right) (Io) \left(\frac{Ro}{R}\right)^2 (\cos\phi)(\cos\delta)(\sin\omega_s) + \frac{\pi}{180} (\omega_s \sin\delta)(\sin\phi)$$

Reemplazando los valores hallados previamente, se obtiene el valor de la radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre:

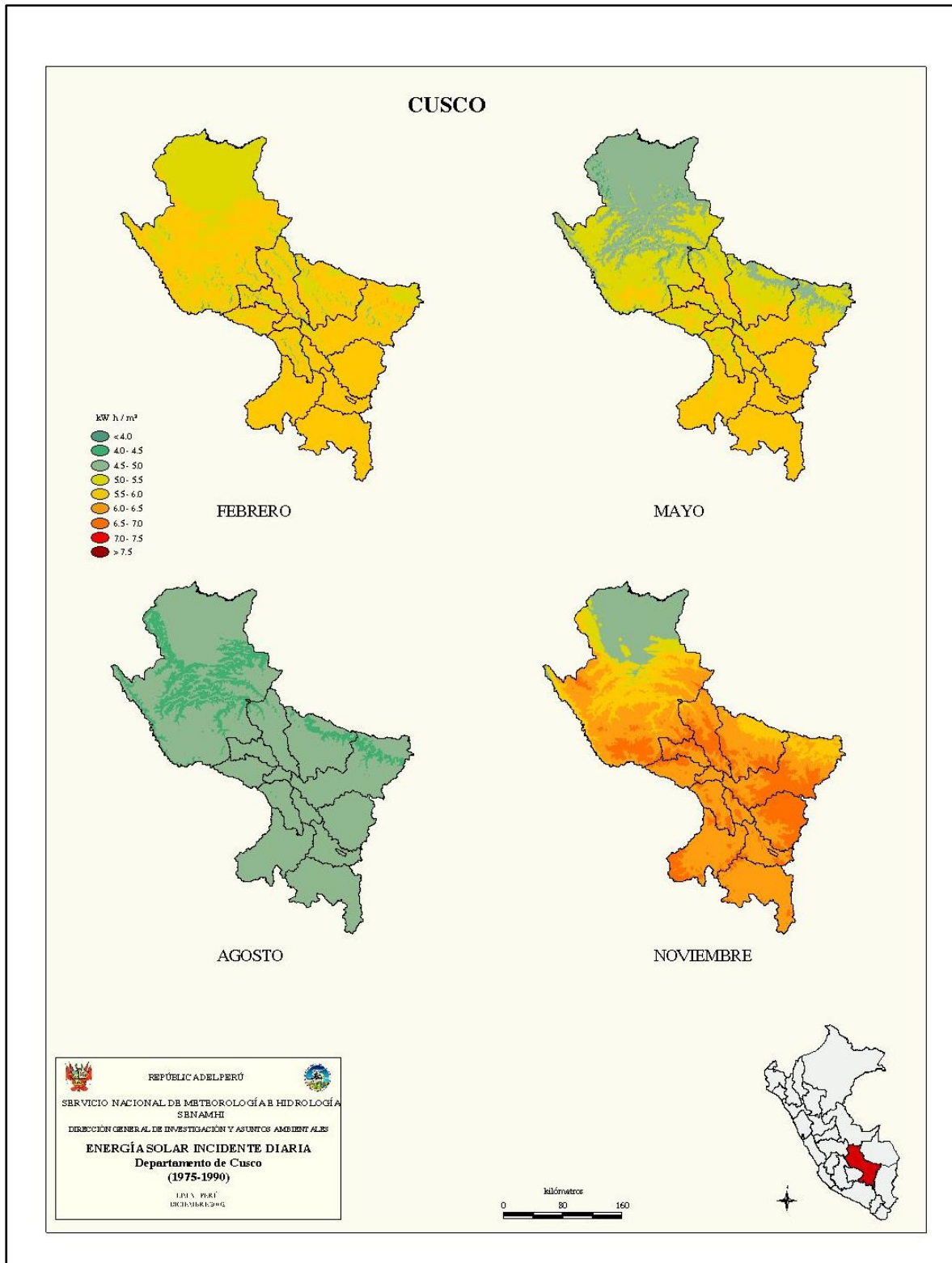
$$Ho(n) = 9587.02 \text{ Wh/m}^2$$

### 3.2.1.9. Cálculo del índice de claridad

Se utilizó el mapa de radiación solar promedio diario del departamento de Cusco, este gráfico se obtuvo del Senamhi.







**Figura N° 13. Mapa de energía solar incidente diaria del Cusco.**  
Fuente: Senamhi, 1991.

Se escogerá la radiación mínima presente en el mapa la cual es igual a 4.5 kWh/m<sup>2</sup>

$$H = 4.5 \text{ kWh/m}^2$$

$$Kt = H/H_o$$

$$Kt = 4.5/9.587$$

$$Kt = 0.469$$

### 3.2.1.10. Cálculo de la relación de la radiación solar difusa con la radiación media diaria

Para hallar el valor de la relación de la radiación solar difusa con la radiación media diaria se utilizará la siguiente fórmula:

$$\frac{\overline{Hd}}{\overline{H}} = 1.188 - 2.272Kt + 9.473Kt^2 - 21.865Kt^3 + 14.648Kt^4$$

Reemplazando los valores obtenidos previamente, se hallará la relación:

$$\frac{\overline{Hd}}{\overline{H}} = 0.658$$

### 3.2.1.11. Cálculo de la relación de la radiación solar inclinada por día y la radiación global horizontal diaria

Para hallar el valor de la relación de la radiación solar inclinada por día y la radiación global horizontal diaria, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\bar{R} = \left[ \frac{\overline{H} - \overline{Hd}}{\overline{H}} \right] \overline{Rb} + \frac{\left( \frac{\overline{Hd}}{\overline{H}} \right) (1 + \cos\beta)}{2} + r(1 - \cos\beta)/2$$

Donde r es igual a la constante de reflectividad de panel con capa anti reflectante. En este caso, se considerará de 0.025. Reemplazando los valores hallados previamente se obtiene el valor de la relación:

$$R = 0.956$$

### 3.2.1.12. Cálculo de la radiación diaria global mensual promedio sobre una superficie inclinada

Para hallar el valor de la radiación diaria global mensual promedio sobre una superficie inclinada, se utilizará la siguiente fórmula:

$$H(\beta) = H * R$$

Reemplazando los valores que se obtuvieron previamente, se halla el valor de la radiación diaria global promedio:

$$H(15^\circ) = 4.5 * 0.95$$

$$H(15^\circ) = 4.3$$

### 3.2.2. Cálculo y diseño de los componentes del sistema fotovoltaico autónomo

#### 3.2.2.1. Cálculo de paneles

Para el diseño de paneles se requieren los siguientes parámetros: la energía consumida y el valor de la radiación diaria global mensual promedio sobre la superficie inclinada.

$$E_c = 16.68kWh/d$$

$$H(15^\circ) = 4.301kWh/m^2$$

#### **Eficiencia del SFV:**

Se determina mediante el producto de la eficiencia de cada componente del SFV: controlador, inversor y baterías.

$$n = n_c * n_i * n_b = 0.97 * 0.95 * 0.98 = 0.903$$

### **Cálculo hora solar pico HSP**

Potencia nominal pico del panel  $SVF = 1000W/m^2$

$$HSP = H(15^\circ)/SVF$$

$$HSP = 4.301/1000 = 4.301h$$

### **Cálculo de potencia requerida por panel**

Se determina para calcular la potencia bruta que el sistema SVF debe captar para satisfacer la demanda de energía consumida diaria. Para ello, se divide la energía consumida  $E_c$  con la hora solar pico HSP; por último, para calcular la potencia bruta, se divide entre la eficiencia del sistema.

$$PSFV = E_c/HSP * 1/n$$

$$PSFV = 4.294kW$$

#### 3.2.2.2. Cálculo del número de paneles

Se parte de la preselección de la potencia y voltaje del panel. Por lo que, para este diseño, se emplearon paneles solares de 330W 45.75V.

Luego, en función a la potencia requerida del SFV, se determinó la mínima cantidad de paneles FV.

$$P_{panel} = Wp = 330W$$

$$N^\circ \text{paneles} = PSFV/Wp = 4.294/330 = 13.014$$

En base a la cantidad de paneles, se configura una distribución de modo que se conecten grupos conectados en paralelo, que conforman tres paneles conectados en serie cada uno. Esto es requerido puesto que garantiza que la tensión de las conexiones en paralelo no supere los 150 V máximos de entrada del MPPT preseleccionado. Siguiendo esta metodología la

distribución final se realizará en 5 grupos de paneles conectados en paralelo al regulador de carga MPPT. Cada uno de estos grupos está constituido por 3 paneles conectados en serie.

$$V_{paralelo} = 3 * V_{panel.unid} = 3 * 45.75 = 137.25 V$$

$$V_{paralelo} < V_{max} = 150 V$$

A continuación, se presenta la distribución de las conexiones de los paneles solares.

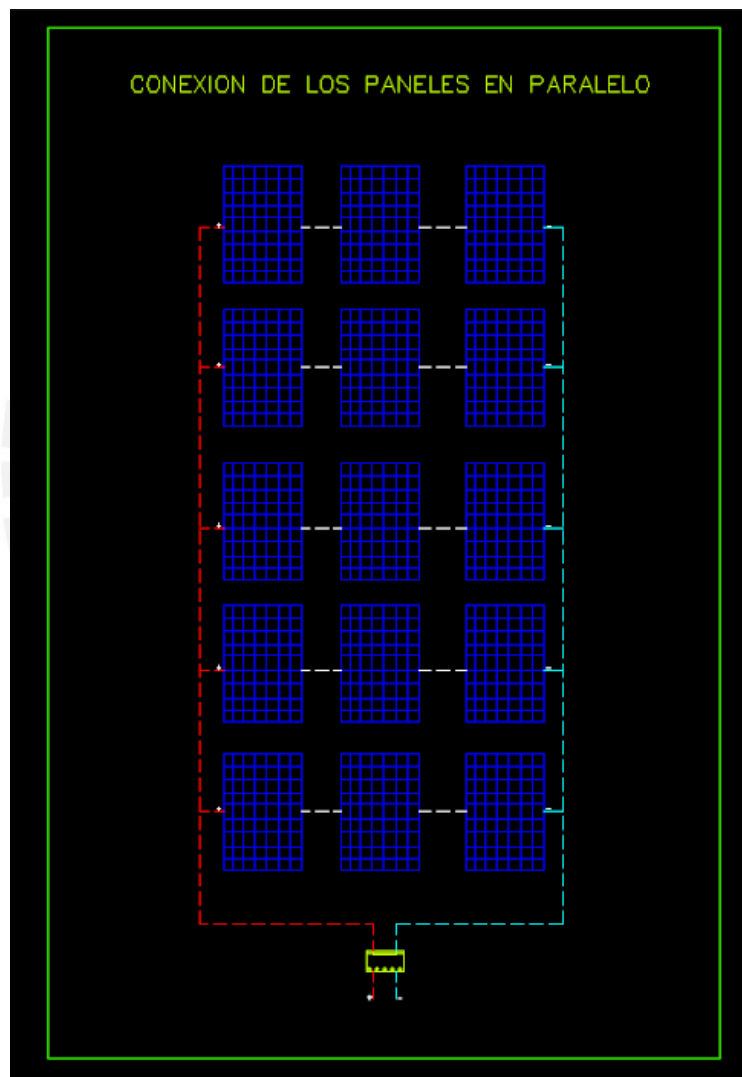


Figura N° 14. Plano de conexión de los paneles en paralelo.

Fuente: Propia

### 3.2.2.3. Cálculo del controlador de carga MPPT

#### **Corriente máxima de carga:**

Se delimitan los parámetros del controlador MPPT preseleccionado, de modo que el voltaje de entrada no sea inferior a la obtenido de la distribución de paneles. Para ello, se emplea un controlador 150/100.

Tensión máxima de entrada al controlador  $V_{max} = 150 V$

Tensión del sistema  $V_{sist} = 48 V$

Se determina la capacidad de potencia suministrada del sistema multiplicando el número de paneles por la potencia que puede suministrar cada uno. Luego, se determina la corriente máxima del SFV.

Capacidad de potencia total del sistema diseñado  $P_{total} = 15 * 330 = 4950 W$

Corriente máxima  $I_{max} = P_{total}/V_{sist} = 4950/48 = 103.125 A$

### 3.2.2.4. Cálculo de baterías

En base a la corriente máxima, se preselecciona aquella batería que satisfaga los requisitos de corriente máxima. La selección del voltaje dependerá del espacio disponible para almacenar las baterías y la evaluación económica entre baterías de distinto voltaje. Por lo que basándonos en las baterías más comerciales se emplean baterías de 12V-100Ah.

Tensión de la batería  $V_{bat} = 12 V$

Amperios-hora de la batería  $Ah_{bat} = 100 Ah$

Luego, se procede a la determinación de baterías en serie y paralelo bajo los criterios que se explicarán en cada inciso.

### **Cantidad de conexiones en paralelo:**

Se determina en función a los amperios hora requerida por el sistema mediante la división de la energía consumida  $E_c$  y el voltaje del sistema  $V_{sist}$ . A partir de este parámetro se determina el número de conexiones en paralelo requeridas de modo que satisfaga los amperios hora suministrados. Cabe resaltar que se debe aplicar el factor de profundidad máxima y días de autonomía.

$$\text{Amperios-hora } Qh = E_c / V_{sist} = 16.68 / 48 = 347.5 \text{ Ah/d}$$

$$\text{Factor de profundidad de descarga máxima } fp = 80\%$$

$$N_{paral} = Qh / Ah_{bat} * (1 / fp)$$

$$N_{paral} = 347.5 / 100 * (1 / 0.8) = 4.34$$

$$N_{paral} = 5$$

### **Cantidad de baterías en serie:**

Se determina la cantidad de baterías que se deben conectar en serie de modo que el voltaje suministrado por cada conexión en paralelo sea igual al voltaje del sistema  $V_{sist}$ . A partir de la división entre voltaje del sistema y de la batería.

$$N_{serie} = V_{sist} / V_{bat}$$

$$N_{serie} = 48 / 12 = 4$$

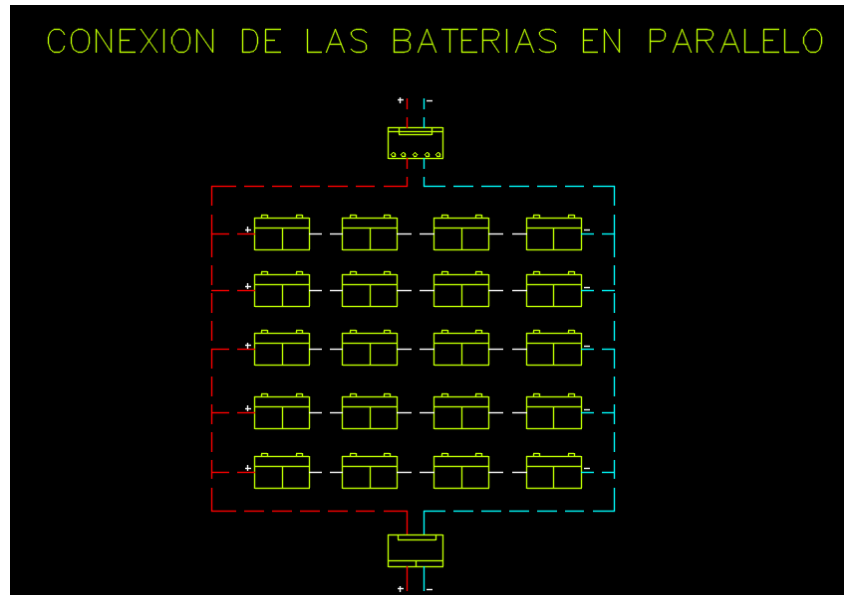
### **Cantidad total de baterías:**

Por último, se determina la cantidad total de baterías mediante el producto del número de conexiones en paralelo y la cantidad de baterías conectadas por serie.

$$N_{bat} = N_{paral} * N_{serie}$$

$$N_{bat} = 5 * 4 = 20$$

A continuación, se presenta la distribución de las conexiones de las baterías.



**Figura N°15. Plano de conexión de las baterías en paralelo.**

Fuente: Propia.

### 3.2.2.5. Cálculo del inversor DC/AC:

Para la selección del inversor los parámetros de interés son la tensión de salida del sistema, el cual estará determinado por el voltaje de trabajo de los terminales (sistema de alumbrado), la tensión de entrada al inversor, el cual fue determinado por el controlador MPPT empleado y la potencia requerida, el cual fue calculado a partir del metrado de cargas y la tensión de entrada.

Demanda máxima:  $P_c = 1330 \text{ W}$

Tensión de salida  $V_{salida} = 220 \text{ V (AC)}$

Tensión de entrada  $V_{entrada} = 48 \text{ V (DC)}$

Frecuencia  $f = 60 \text{ Hz}$

Fases: Monofásica



## Potencia requerida del inversor

Debido a la incertidumbre de la simultaneidad de uso y la potencia real de consumo de cada alumbrado, se aplicó un factor de seguridad propio con valor de 1.20 con objeto de amplificar la potencia requerida del inversor.

$$P_{req} = P_c * FS$$

$$P_{req} = 1330 * 1.2 = 1596 W$$

Comparando los costos entre diferentes marcas y disponibilidad del mercado, se selecciona un inversor AC/DC 48/3000 puesto que comparando costos es más comercial que un inversor AC/DC 48/1600.

### 3.2.2.6. Cálculo del conductor

Para el cálculo del calibre de los conductores, se determinó con la siguiente ecuación dependiente de la caída de tensión máxima.

$$S = \frac{2LI}{58 * \%V}$$

Cabe resaltar que, para garantizar la operatividad de los equipos, las caídas de tensión máxima en cada tramo de la instalación son las siguientes:

Tramo	%V máximo
Panel FV - MPPT	3
MPPT - Baterías	1
Inversor - Baterías	1
Línea de distribución	3

Tabla N° 02. Caídas de tensiones máximas.

Fuente: Propia

Comparando la sección requerida mínima de cada tramo calculado con la ecuación anterior, se deberá seleccionar aquella sección inmediata superior y se comprobará que las intensidades máximas sean admisibles.

**Tramo panel FV - controlador MPPT:**

$$L = 18.1m$$

$$I = 5 * 8.71 = 43.55A$$

$$\%V = 3\% \rightarrow 1.44V$$

$$S = \frac{2 * 18.1 * 43.55}{58 * 1.44} = 19.55mm^2$$

La sección determinada es la mínima del conductor para cumplir con la caída de tensión máxima. Asimismo, en base a las tablas del NATIONAL ELECTRICAL CODE 1953, la capacidad de intensidad de corriente es 70A, lo cual es adecuado para la corriente de diseño.

Por lo tanto, la sección determinada es de 4AWG - 21.1mm<sup>2</sup>.

**Tramo controlador MPPT - Baterías:**

$$L = 2.5m$$

$$I = 100A$$

$$\%V = 1\% \rightarrow 0.48V$$

$$S = \frac{2 * 2.5 * 100}{58 * 0.48} = 17.96mm^2$$

La sección determinada es la mínima del conductor para cumplir con la caída de tensión máxima. No obstante, en base a las tablas del NATIONAL ELECTRICAL CODE

1953, no alcanza la capacidad de intensidad de corriente de 100A. Por lo que se debe seleccionar una sección mayor.

Por lo tanto, la sección determinada es de 1AWG -  $42.4mm^2$ .

#### **Tramo Baterías - inversor:**

El cálculo de este tramo se realiza en base de la potencia máxima del inversor y se debe considerar la intensidad máxima que nos brinda el inversor.

$$L = 3.5m$$

$$I = \frac{3000 * 1.25}{48} = 78.125A$$

$$\%V = 1\% \rightarrow 0.48V$$

$$S = \frac{2 * 3.5 * 78.125}{58 * 0.48} = 19.64mm^2$$

La sección determinada es la mínima del conductor para cumplir con la caída de tensión máxima. No obstante, en base a las tablas del NATIONAL ELECTRICAL CODE 1953, no alcanza la capacidad de intensidad de corriente de 55A. Por lo que se debe seleccionar una sección mayor.

Por lo tanto, la sección determinada es de 3AWG -  $26.7mm^2$ .

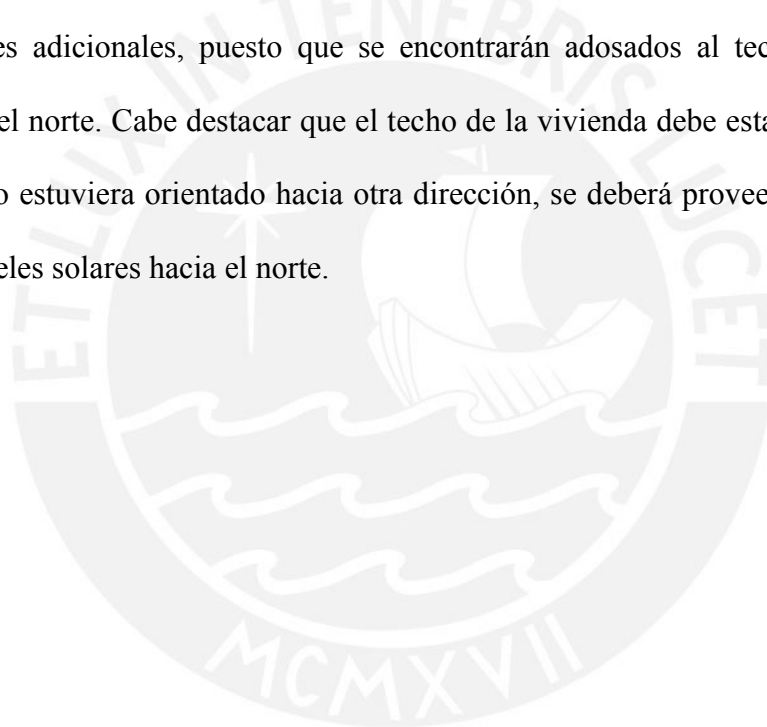
#### **Tramo distribución alumbrado:**

En esta sección, los cálculos fueron realizados en base a la potencia de cada circuito, la intensidad de corriente y verificando las caídas de tensión a los tramos más externos.

### 3.2.2.7. Cálculo de inclinación, sombras y distancia entre paneles

Se recomienda que los paneles fotovoltaicos estén orientados hacia norte para viviendas ubicadas en el hemisferio sur con una inclinación respecto a la superficie horizontal de por lo menos  $15^\circ$ . Ello para asegurar que el agua de las lluvias discurre fácilmente, lavando el polvo al mismo tiempo. Por otro lado, para zonas en latitudes superiores a los  $30^\circ$ , se debe aumentar la inclinación para equilibrar las fluctuaciones estacionales (Energía Solar, PUCP)

Debido a que la vivienda se ubica en la latitud  $13.5^\circ\text{S}$  y el tejado de la vivienda es dos aguas con una inclinación de  $15^\circ$ , los paneles fotovoltaicos no requerirán inclinaciones ni soportes adicionales, puesto que se encontrarán adosados al techo en el sentido orientado hacia el norte. Cabe destacar que el techo de la vivienda debe estar orientado hacia el norte. En caso estuviera orientado hacia otra dirección, se deberá proveer de soportes que orienten los paneles solares hacia el norte.




## Capítulo 4: Análisis económico

### 4.1. Presupuesto del proyecto

Se realizó la búsqueda de los componentes con los requerimientos en la etapa de diseño. También se averiguó el precio de cada uno de estos en el portal AutoSolar que ofrece el servicio de venta de sistemas fotovoltaicos. A continuación, se muestran los elementos seleccionados y las principales características de estos.

#### Panel Solar ERA 330 45.75V

En la Figura N° 16 se muestran las principales características del panel solar. La ficha técnica completa se adjunta en el Anexo 02.



Características	
Potencia del Panel Solar	330 W
Tipo de Célula del Panel Solar	Policristalino
Rigidez del Panel Solar, Rígido	Rígido
Dimensiones del Panel Solar, Largo x Ancho x Grueso (mm) 1956 x 992 x 40 mm	Largo x Ancho x Grueso (mm) 1956 x 992 x 40 mm
Tensión Máxima Potencia	37.95 V
Corriente en Cortocircuito ISC	9.3 A
Eficiencia del Módulo	17.00%
Amperios Máximos de Salida IMP	8.7 A
Tensión en Circuito Abierto	45.75 V
Voltaje de Trabajo del Panel Solar	24 V
Peso del Panel Solar	20.9 Kg
Marco del Panel Solar	Blanco y Gri Gris
Garantía del Panel Solar	25 años

Figura N°16. Principales características del panel solar.

Fuente: AutoSolar.

## Controlador VICTRON ENERGY 150/100

En la Figura N° 17 se muestran las principales características del controlador. La ficha técnica completa se adjunta en el Anexo 03.



Características	
Voltaje de Trabajo del Regulador	Compatible con instalaciones a 12V, 24V y 48 V
Amperios Máximos de Carga del Regulador	100A
Consumo en Vacío del Regulador	Menos de 1W
Garantía del Regulador	5 años
Salida de Consumo en DC	Sin salida de consumo en CC

Figura N°17. Principales características del controlador.

Fuente: AutoSolar.

## Batería de GEL TENSITE 12V 100Ah

En la Figura N° 18 se muestran las principales características de la batería a utilizar. La ficha técnica completa se adjunta en el Anexo 04.



Características	
Voltaje de la Batería	12 V
Energía Útil Almacenada	50%
Peso de la Batería	26 Kg
Garantía de la Batería	un año (a partir de los 6 meses con peritaje industrial)

Figura N°18. Principales características de la batería.

Fuente: AutoSolar.

## Inversor MUST SOLAR DC/AC 48/3000

En la Figura N° 19 se muestran las principales características de la batería a utilizar.

La ficha técnica completa se adjunta en el Anexo 05.



Características	
Pico de Potencia del Inversor	3000W
Voltaje de Trabajo del Inversor	48V
Potencia de Salida continuada	3000W
Eficiencia del Inversor	Onda Senoidal Pura
Peso del Inversor	10Kg
Dimensiones del Inversor	438x86.3x400mm

**Figura N°19. Principales características del inversor.**

Fuente: AutoSolar.

Por último, se detallan los costos de los principales ítems ya mencionados, además de los accesorios y soportes necesarios para la instalación de estos.

Ítem	Concepto	Unidad	Metrado	Precio unitario	Subtotal
1	Panel solar ERA 330Wp 45.75V	Pza	15	820.84	12312.6
2	Controlador VICTRON ENERGY 150/100	Pza	1	4290.9	4290.9
3	Batería de GEL TENSITE 12V 100Ah	Pza	20	744.31	14886.2
4	Inversor MUST SOLAR DC/AC 48/3000	Pza	1	3306.18	3306.18
5	Accesorios + conexionado y cableado	Glb	1	1200	1200
6	Soportes metálicos para paneles	Glb	1	630	630
7	Caseta de control 2 x 1.5m de concreto y perfiles metalicos	Glb	1	1200	1200
<b>TOTAL</b>					<b>37825.88</b>

**Tabla N° 03. Presupuesto detallado del proyecto.**

Fuente: Propia.

### 4.2. Viabilidad económica

Para esta sección, se calculará el tiempo, en que el sistema fotovoltaico tendrá una amortización económica y la viabilidad del proyecto si se llevara a cabo. Los parámetros requeridos son el costo del kWh de la compañía luz de la zona.

Costo total del sistema  $C_{sist} = \text{s/} 37825.88$

Costo unitario de 1 kW-h  $C_{kWh} = \text{s/} 0.66$

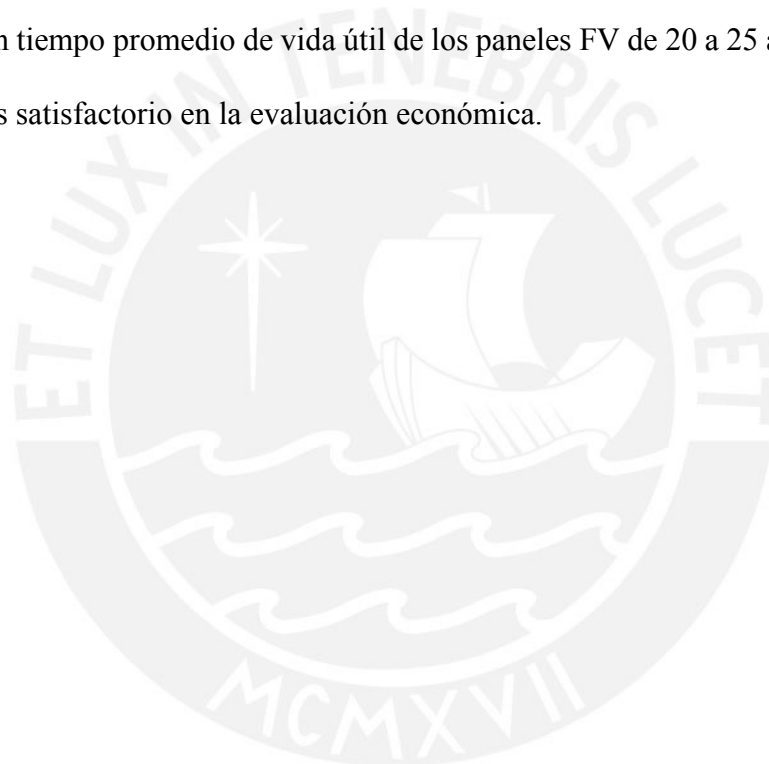
Energía consumida diaria  $E_c = 16.68 \text{ kWh/d}$

Costo mensual  $C_{conv} = C_{kWh} * E_c * 30 \text{ días} = \text{s/} 330.26$

Amortización  $t = C_{sist} / C_{conv} = 37825.88 / 330.26 * (1/30) * (1/12) = 9.5 \text{ años}$

Se observa que en 9.5 años habrá una amortización en el costo inicial del sistema fotovoltaico.

Considerando un tiempo promedio de vida útil de los paneles FV de 20 a 25 años. Se concluye que el sistema es satisfactorio en la evaluación económica.





## Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.

- El presente proyecto plantea aprovechar la energía solar y por medio de esta producir electricidad para el consumo de las iluminarias de las zonas comunes interiores y exteriores del edificio mixto en Cusco por medio de un sistema de paneles fotovoltaicos. Al aprovechar y darle uso a una energía renovable se está optando por una opción que frene la problemática y consecuencias negativas que trae consigo el cambio climático en el medio ambiente. Es una alternativa que resulta atractiva al ser ecológica y velar por el cuidado del ambiente. Durante los últimos años, se ha optado por elegir fuentes renovables como la eólica, hidroeléctrica, biomasa, de las olas y corrientes marinas para reprimir el avance del cambio climático y el presente trabajo de investigación sigue esa línea.
- Según los datos obtenidos por el Senamhi, la región del Cusco presenta un índice de energía solar incidente diaria media-alta durante la mayoría de los meses del año. El índice más bajo se da en el mes de noviembre con un valor entre 4.5-5 kW h/m<sup>2</sup> y el más alto se da en el mes de diciembre con un valor entre 6.5-7 kW h/m<sup>2</sup>. El resto del año presenta una radiación entre los 5.5-6 kW h/m<sup>2</sup> promedio. Por lo que se puede concluir que estos índices de energía solar son favorables para que se le pueda dar uso como energía eléctrica por medio de la instalación de los sistemas de paneles fotovoltaicos. En el caso de la presente investigación se decidió realizar el diseño tomando en cuenta el valor más bajo de energía solar incidente por lo que se está garantizando un rendimiento óptimo ante las condiciones más desfavorables que podrían ocurrir.
- Al realizar el diseño de los paneles y poder obtener un presupuesto para analizar la viabilidad económica, en la cual se tomó el presupuesto total del sistema y se halló el consumo mensual de las luminarias y con esto se halló que la amortización total se dará

en un periodo de 10 años. Se puede observar que el tiempo de vida promedio de estos aparatos es de 25 años lo cual resulta beneficioso para el consumidor ya que podrá tener un ahorro a largo plazo.

- Los estudios previos fueron una buena base de apoyo para poder realizar este trabajo de una manera más enfocada a un consumidor que desea invertir en energías renovables. Estos estudios también muestran lo poco explotado que se encuentra este mercado en Perú y lo mucho que falta un papel de investigación de este mismo.
- Se recomienda incentivar el uso de estas instalaciones en edificios y viviendas para que se pueda aprovechar la energía solar y que por medio de los sistemas FV se pueda transformar a energía eléctrica para un ahorro energético y económico a largo plazo. Del mismo modo, este al usar energía renovable contribuye a un desarrollo sostenible al ser una energía limpia y respetuosa con el medio ambiente que disminuye la contaminación y ayuda en la lucha contra el cambio climático y el efecto invernadero.

## Bibliografía

Arévalo, P., Horna, E. & Rojas, E. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en vivienda unifamiliar en el distrito de Tarapoto – San Martín – 2019. Trabajo de investigación para obtener el grado de bachiller en ingeniería mecánica eléctrica. Tarapoto: Universidad Cesar Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

AutoSolar. (2021). *AutoSolar*. <https://autosolar.pe/>

Días, T., & Carmona, G. (n.d.). Componentes de una instalación solar fotovoltaica.

Espejo Marín, C. (2004). La energía solar fotovoltaica en España.

Espierriz, M., & Oderiz, J. (2013). *Estudio técnico y económico de la incorporación de instalaciones para el ahorro energético en una vivienda unifamiliar*. Universidad Pública de Navarra.

Loaeza, F., Ramiro, C., & Tenorio, J. C. (2012). *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco*. Instituto Politécnico Nacional.

Martínez Cermeño, L. (2015). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico, T.M. Molina de Segura ( Murcia )* [Universidad Politécnica de Valencia].

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57015/01\\_Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57015/01_Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mora, Fátima. (2011). *Estudio de factibilidad para la incorporación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio RTV Ecuador*. Trabajo de investigación para obtener el título de tecnóloga en electromecánica. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos.

- National Board of Fire Underwriters, National Fire Protection Association, National Board of Fire Underwriters, & National Fire Protection Association. (1953). *National Electrical Code, 1953*. NBFU.
- NOAA Global Monitoring Division. (2021). *General Solar Position Calculations*.  
<https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF>
- Pilco, D., & Jaramillo, J. (2008). Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. Universidad Técnica Particular Loja (Vol. 0, pp. 1–4). Retrieved from <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/renlux-paneles-fv.pdf>
- Ramos, H., & Luna, R. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca* [Universidad Tecnológica de Salamanca].  
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/521/1/Tesis Rafael Luna Puente%2C Humberto Ramos López.pdf>
- Sánchez Pacheco, C. (2010). *Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano* [Universidad Internacional de Andalucía].  
[http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/503/0115\\_Sanchez .pdf?sequence=1](http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/503/0115_Sanchez .pdf?sequence=1)
- Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. World Watch.
- Senamhi. (1991). *Atlas de Radiación Solar*. Senamhi. <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Smets, A. H., Jäger, K., Isabella, O., Swaaij, R. A., & Zeman, M. (2015). *Solar Energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. UIT Cambridge.
- Vásquez, A., Tamayo, J., & Salvador, J. (2017). *La Industria de la Energía Renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Organismo

Supervisor de La Inversión En Energía y Minería - OSINERGMIN, 1, 309.

[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)





# **ANEXOS**

# **ANEXO 01. Plano de diseño del Sistema de Paneles FV**

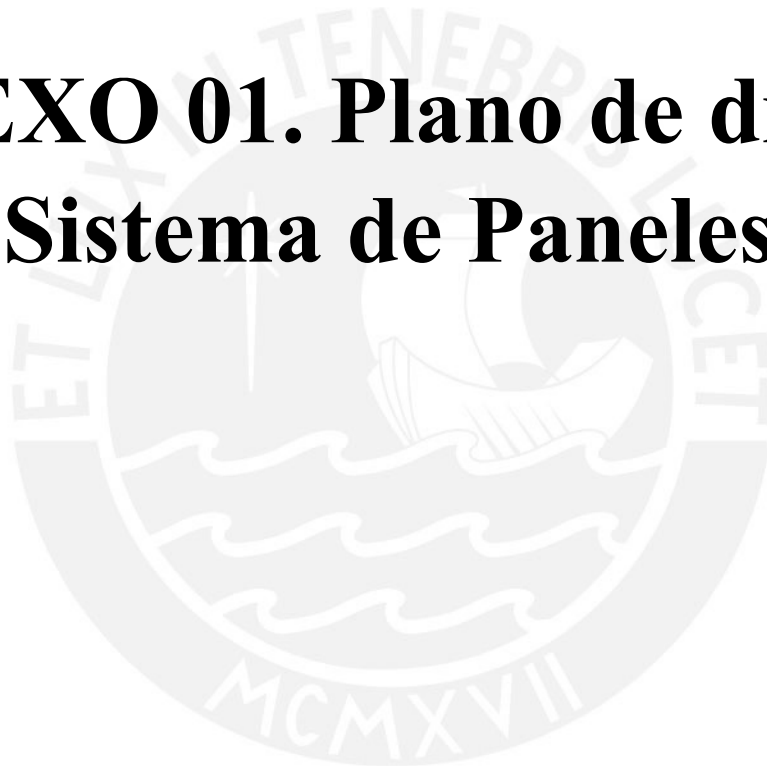
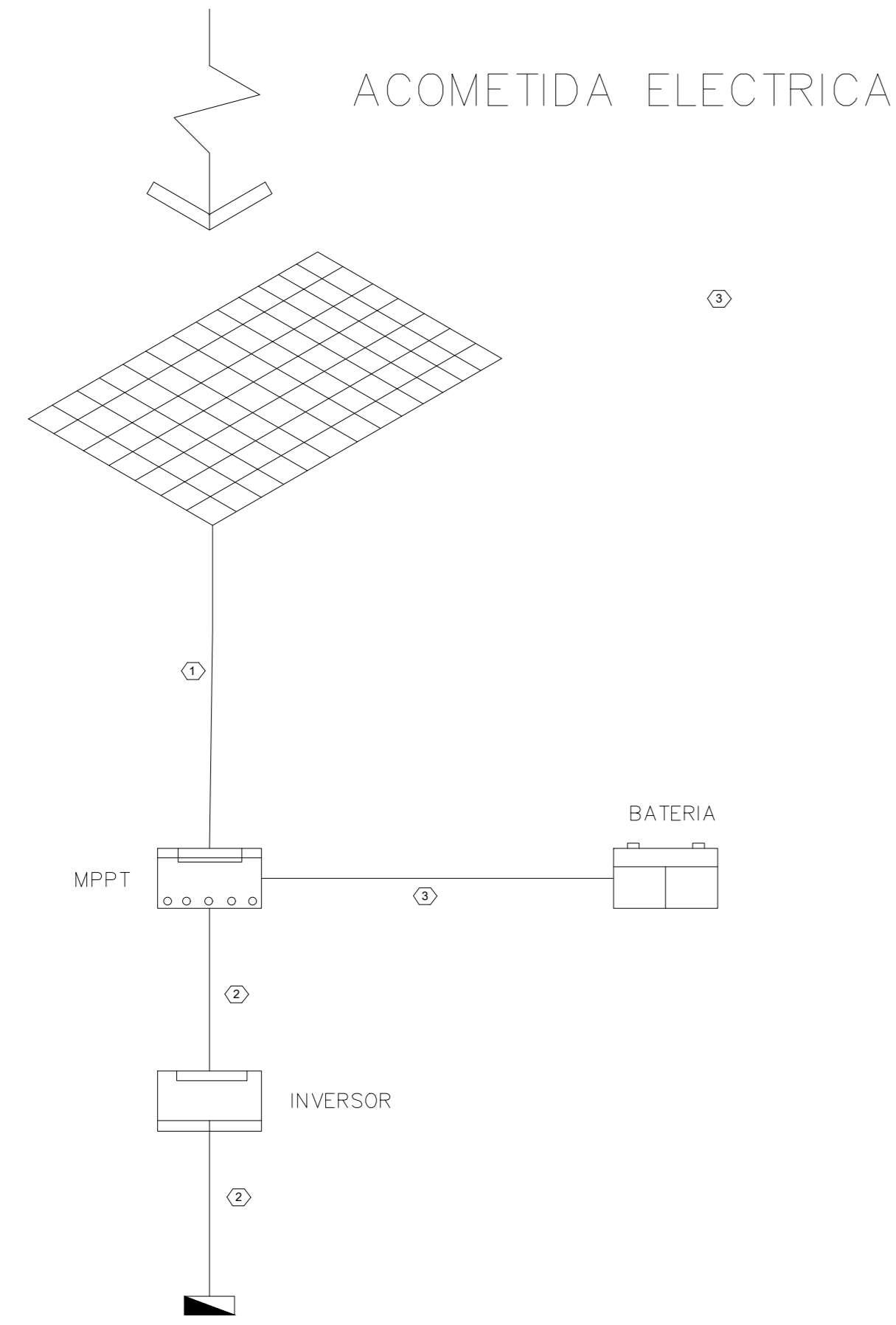
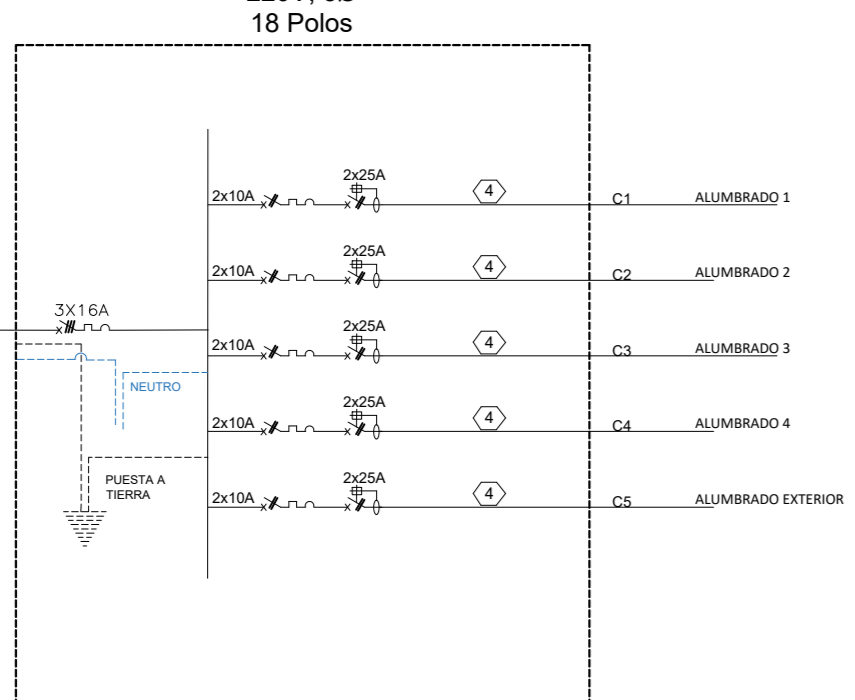


DIAGRAMA UNIFILAR

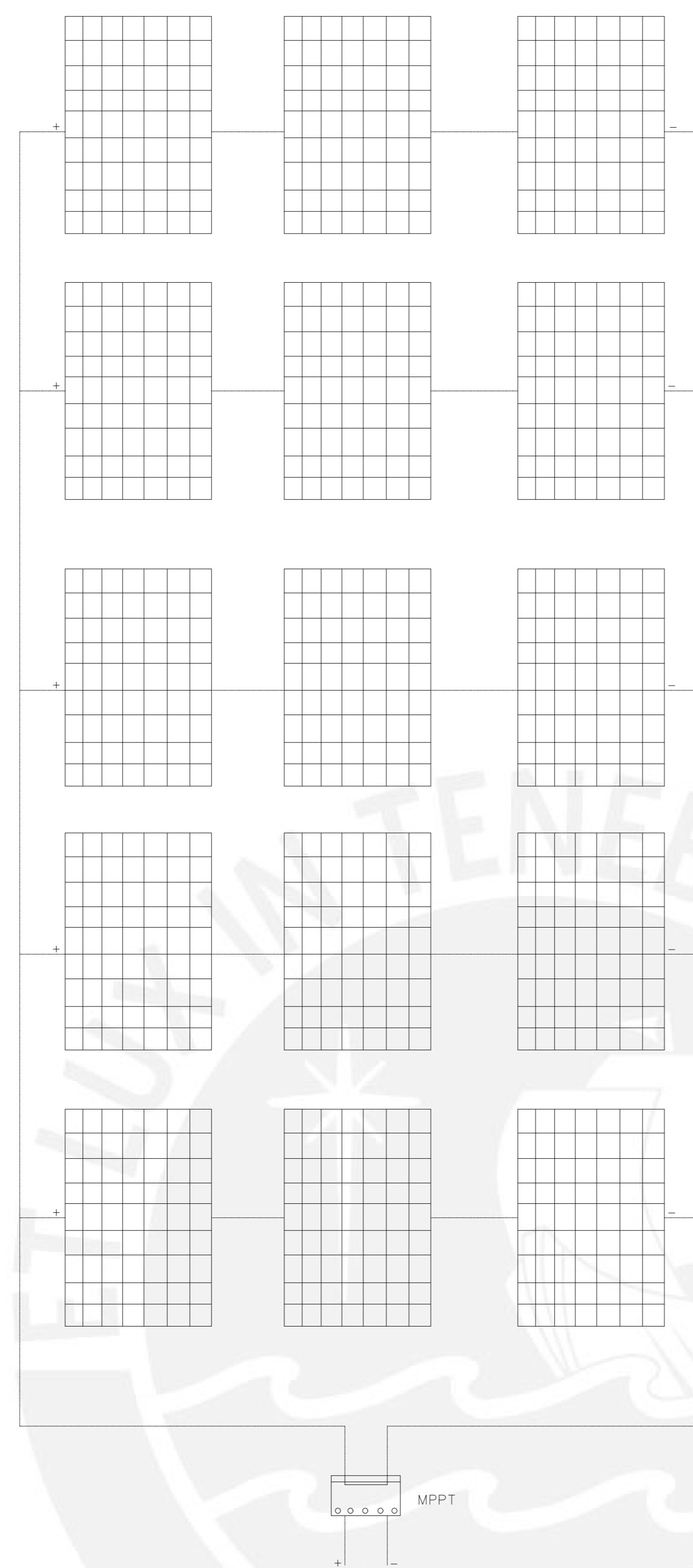


TSFV  
TABLERO TSFV  
(PRIMER PISO)  
220V, 3Ø  
18 Polos

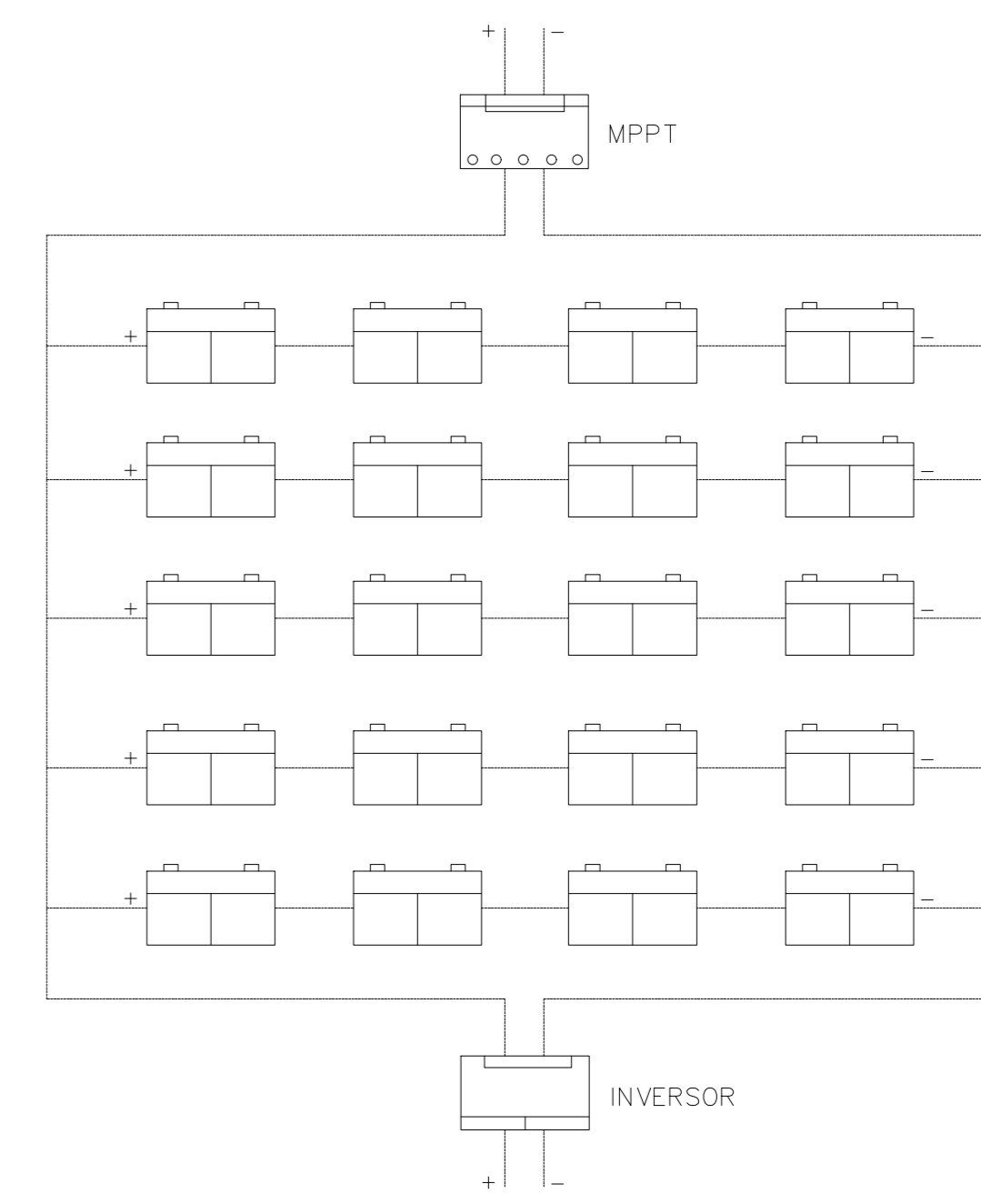


VIENE CIRCUITO DEL TABLERO GENERAL TG

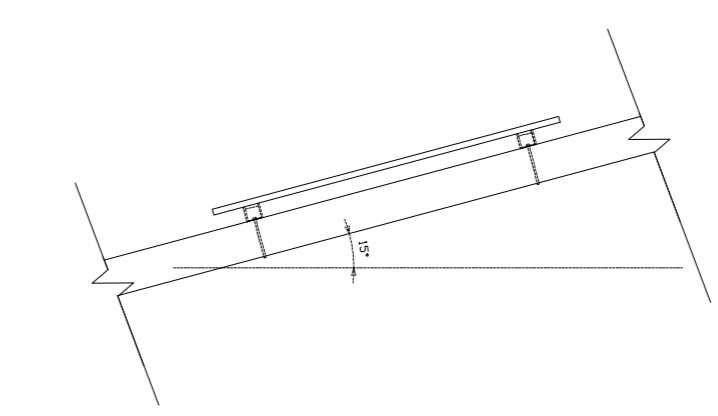
CONEXION DE LOS PANELES EN PARALELO



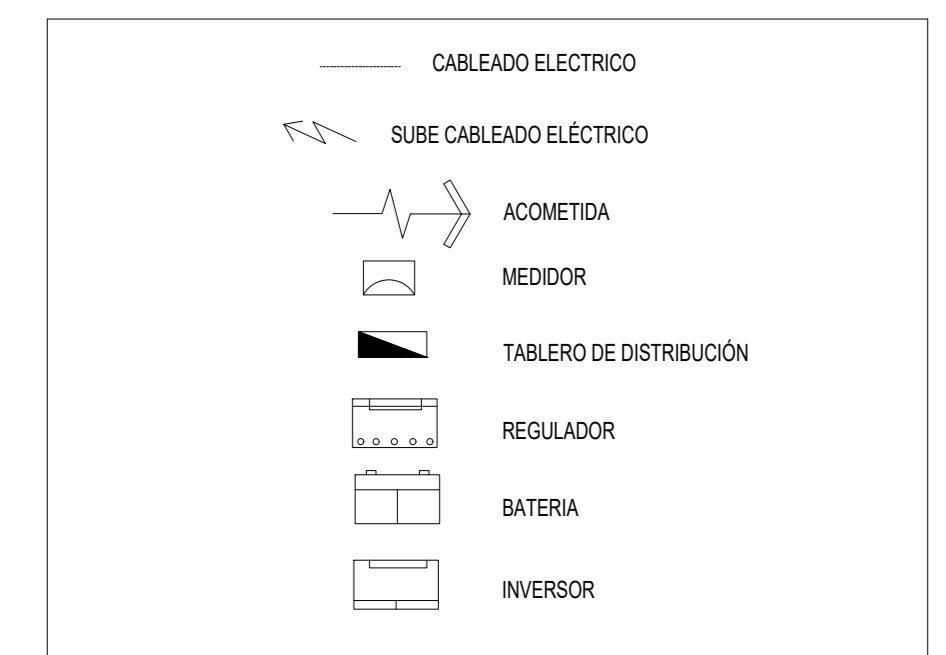
CONEXION DE LAS BATERIAS EN PARALELO



Detalle anclajes de Paneles FV

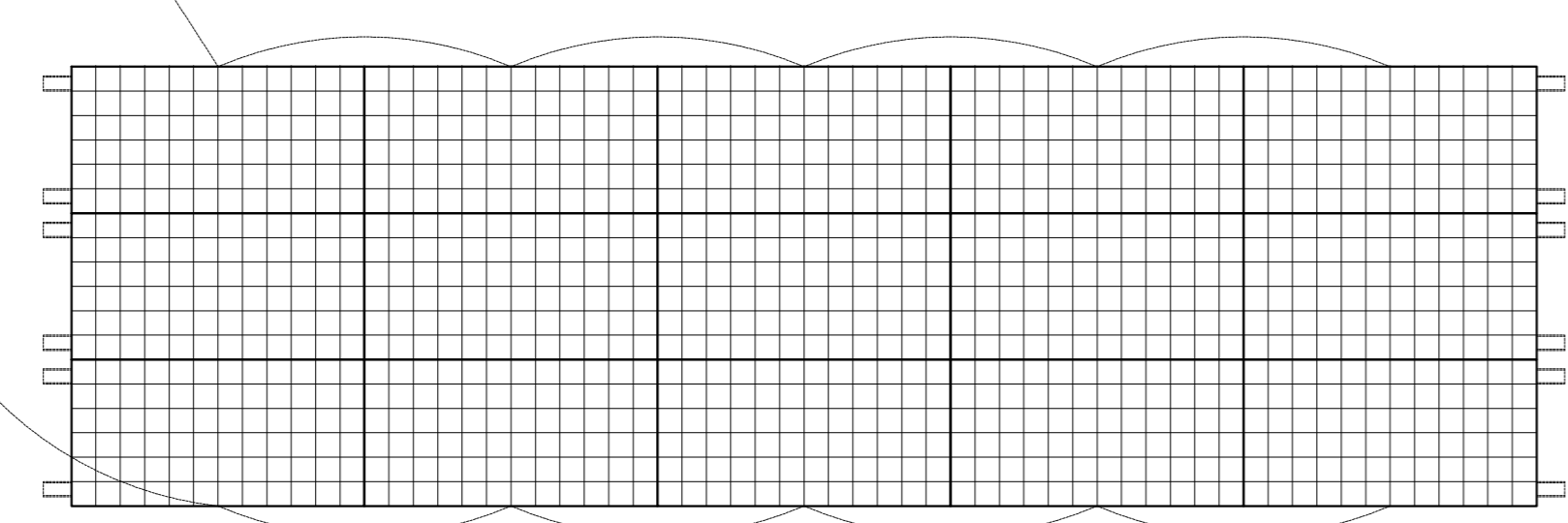
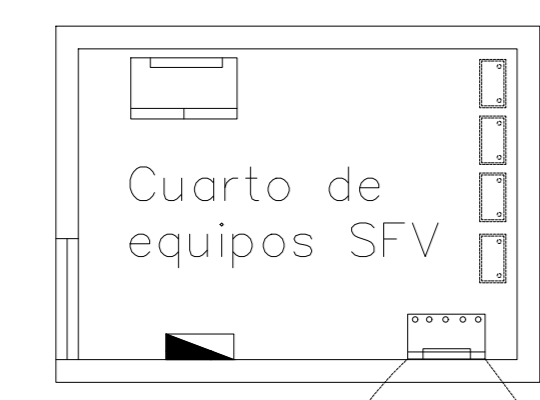


SIMBOLOGIA



DETALLE DE CIRCUITOS

CLAVE	DESCRIPCION
①	2-1#4 AWG THW - Ø35mm PVC-SEL
②	2-1#3 AWG THW - Ø35mm PVC-SEL
③	2-1#1 AWG THW - Ø40mm PVC-SEL
④	2-1#4#1 AWG THW - Ø15mm PVC-SEL
⑤	3-1#4#1 AWG THW - Ø15mm PVC-SEL



DIRECCION DE PENDIENTE 27% DE TECHO DOS AGUAS



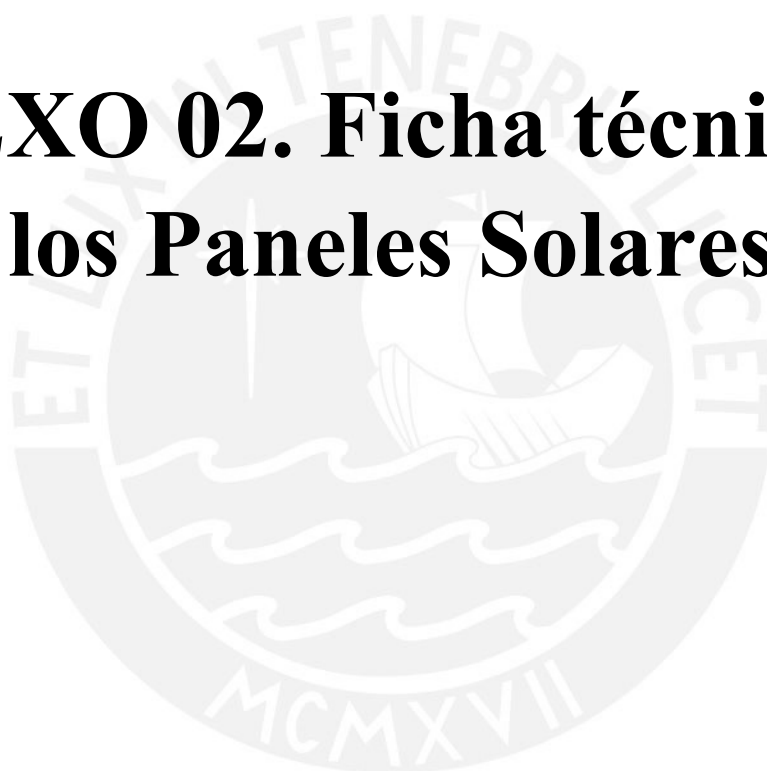
EDIFICIO MIXTO (COMERCIAL Y MULTIFAMILIAR) - WÁNCHAQ

PLANO: DISEÑO DE SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICO

TEMA DE INVESTIGACIÓN	INTEGRANTES- GRUPO 31: - CAMARÁ TUPAC YUPANQUI, ALVARO ARMANDO 20161851 - GODIÑO VILCHEZ, FRANCISCO ENRIQUE 20170484 - HUIHUA ROJAS, EDUARDO DANIEL 20171350 - HUAMAN IZQUIERDO, DANIEL IVAN 20171897 - VILLAVICENCIO VILCAPOMA, JEAMPIER ERNESTO 20162017		DISTRITO: WÁNCHAQ	LÁMINA:  F-1
	PROVINCIA: CUSCO		DEPARTAMENTO: CUSCO	
ESPECIALIDAD: INSTALACIONES	HORARIOS: H-0907-0908-0909	ASESOR: ING. DIEGO FUENTES	ESCALA: 1:50	FECHA: 15/11/2021



# **ANEXO 02. Ficha técnica de los Paneles Solares**



# ESPMC

Polycrystalline Solar Module

**Q High-quality**  
With 72 cells and 3 bypass diodes in power classes from 300 to 330 Wp for grid connected systems.

**\$ Reliable**  
The high quality level of ERA SOLAR guarantees long life-time and high earnings.

**kg Solid**  
An Aluminium hollow-chamber frame on each side combined with low-iron and tempered solar glass ensures high load capacity resistance.

**Wp Performance guarantee**  
ERA SOLAR grants a power guarantee of 90% of nominal power output up to 10 years and 80% up to 25 years.

**+** WATTS POSITIVE TOLERANCE

**10** YEARS PRODUCT WARRANTY

**10** YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 90%

**25** YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 80%



# ESPMC

Polycrystalline Solar Module

## SPECIFICATIONS

Dimensions	1956 x 992 x 35 mm 1956 x 992 x 40 mm 1956 x 992 x 45 mm
Weight	20.9 kg
Frame	Aluminium hollow-chamber frame on each side
Glass	Low-iron and tempered glass 3.2 mm
Cells	72 pcs multi-crystalline Si-cells (156 x 156 mm)
Cell Embedding	EVA
Back-Foil	FEVE / PET/ FEVE
Junction Box	
Cable	4 mm <sup>2</sup> solar cable 2 x 900 mm
Temperature Range	-40°C ... +85°C
Load Capacity	5400 Pa
Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C
Product Warranty	10 years
Power Guarantee	10 years 90% 25 years 80%

## CHARACTERISTICS

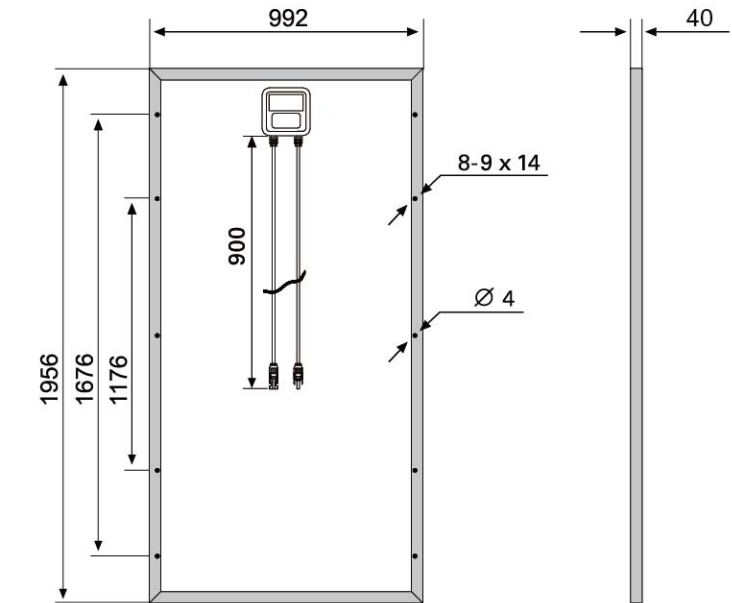
Max. System Voltage	1000V/DC
Temperature- <sub>sc</sub>	+0.08558%/°K
Temperature- <sub>V<sub>OC</sub></sub>	-0.29506%/°K
Temperature- <sub>mpp</sub>	-0.38001%/°K
NOCT***	45°C

## CERTIFICATES

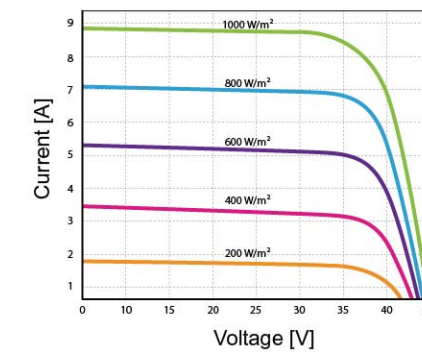
IEC 61215 edition 2 (TÜV Nord)  
IEC 61730 MCS INMETRO  
CE CEC SALT-MIST  
PID Resistant

## INSURANCE

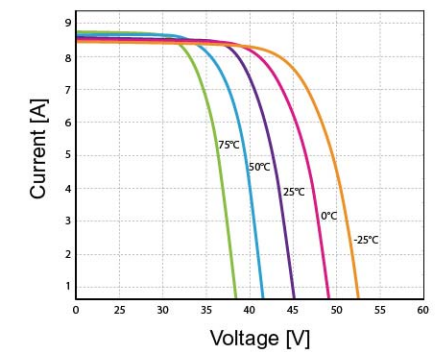
Chubb



## CURRENT-VOLTAGE CURVES



Module characteristics at constant module temperatures (25°C) and different levels of irradiance.



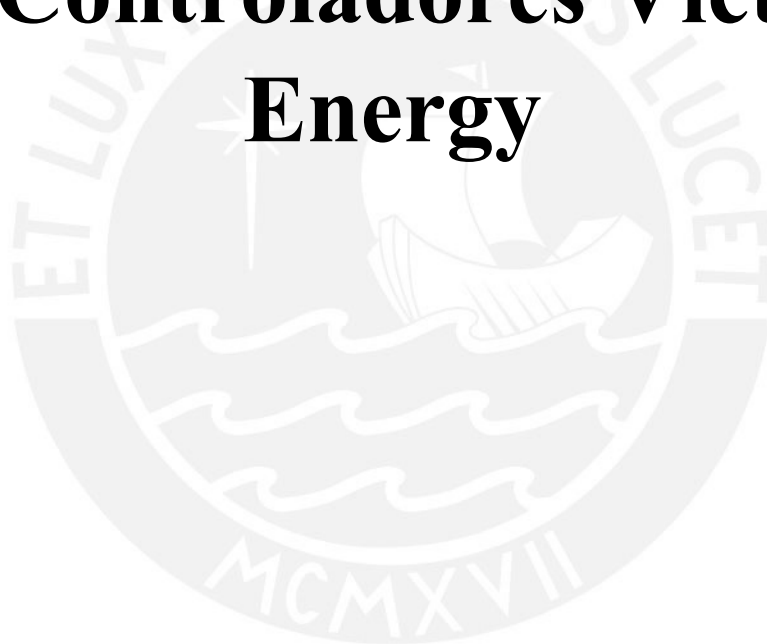
Module characteristics at different module temperatures and constant module irradiance (1.000 W/m<sup>2</sup>).

ESPMC TYPE	300	310	315	320	325	330
Power Class	300W	310W	315W	320W	325W	330W
Max. Power Voltage (V <sub>mpp</sub> )* at STC**	37V	37.3V	37.5V	37.65V	37.8V	37.95V
Max. Power Current (I <sub>mpp</sub> ) at STC	8.1A	8.31A	8.4A	8.5A	8.6A	8.7A
Open Circuit Voltage (V <sub>OC</sub> ) at STC	44.8V	45.1V	45.3V	45.45V	45.6V	45.75V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> ) at STC	8.7A	8.9A	9A	9.1A	9.2A	9.3A
Module Efficiency	15.5 %	16 %	16.2 %	16.5 %	16.8 %	17 %

\* MPP: Maximum Power Point  
\*\* STC (Standard Test Conditions): 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5  
\*\*\* Normal Operating Cell Temperature



# **ANEXO 03. Ficha técnica de los Controladores Victron Energy**



## Controladores de carga SmartSolar con conexión de rosca o FV MC4 MPPT 150/45 hasta MPPT 150/100



**Controlador de carga SmartSolar  
MPPT 150/100-Tr  
Con pantalla conectable opcional.**



**Controlador de carga SmartSolar  
MPPT 150/100-MC4  
Sin pantalla**

### Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

### Detección avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En caso de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales suelen seleccionar un MPP local, que no necesariamente es el MPP óptimo.

El innovador algoritmo de SmartSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

### Excepcional eficiencia de conversión

Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

### Algoritmo de carga flexible

Un algoritmo de carga totalmente programable (consulte la página de *software* de nuestra página web) y ocho algoritmos de carga preprogramados, que se pueden elegir con un selector giratorio (consulte más información en el manual).

### Amplia protección electrónica

Protección de sobretemperatura y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa FV.

### Sensor de temperatura interna

Compensa la tensión de carga de absorción y flotación en función de la temperatura.

### Bluetooth Smart integrado: no necesita mochila

La solución inalámbrica para configurar, supervisar y actualizar el controlador con un teléfono inteligente, una tableta u otro dispositivo Apple o Android.

### VE.Direct

Para una conexión de datos con cable a un Color Control GX, otros productos GX, PC u otros dispositivos.

### On/Off remoto

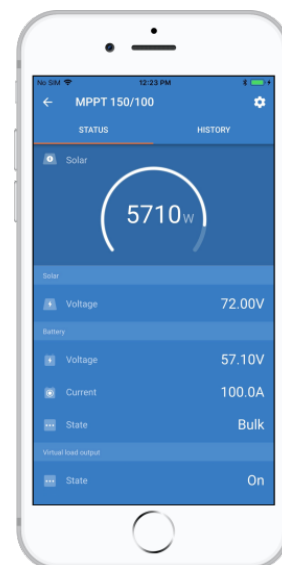
Para conectarse a un VE.BUS BMS, por ejemplo.

### Relé programable

Se puede programar (entre otros, con un teléfono inteligente) para activar una alarma u otros eventos.

### Opcional: pantalla LCD conectable

Simplemente retire el protector de goma del enchufe de la parte frontal del controlador y conecte la pantalla.



Controlador de carga SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	50A (máx. 30A por conector MC4)			70A (máx. 30A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				
Autoconsumo	Menos de 35 mA a 12 V / 20 mA a 48 V				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "ecualización"	Valores predeterminados: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (regulable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas (ocho algoritmos preprogramados) o algoritmo definido por el usuario				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobrettemperatura				
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40 °C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Altura máxima de trabajo	5.000 m (fpotencia nominal completa hasta los 2.000 m)				
Condiciones ambientales	Para interiores, no acondicionados				
Grado de contaminación	PD3				
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth				
Interruptor on/off remoto	Sí (conector bifásico)				
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V AC / 4 A		Capacidad nominal CC 4A hasta 35VCC, 1A hasta 60VCC		
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				
<b>CARCASA</b>					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales FV 3)	35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (modelos Tr) Dos pares de conectores MC4 (modelos MC4)			35 mm <sup>2</sup> / AWG2 (modelos Tr) Tres pares de conectores MC4 (modelos MC4)	
Bornes de la batería	35mm <sup>2</sup> / AWG2				
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	3 kg			4,5kg	
Dimensiones (al x an x p) en mm	Modelos Tr: 185 x 250 x 95 mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95 mm			Modelos Tr: 216 x 295 x 103 Modelos MC4: 246 x 295 x 103	
<b>NORMAS</b>					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				

1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la entrada de potencia.

1b) La tensión FV debe exceder Vbat + 5V para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.

2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.

3) Modelos MC4: se podrían necesitar varios pares de separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares



**ANEXO 04. Ficha técnica de  
la batería GEL Tensite**



### CHARACTERISTICS



Compact size ideal for any type of use.

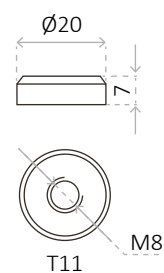
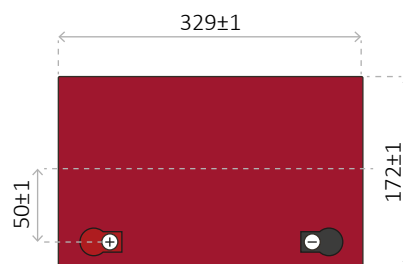
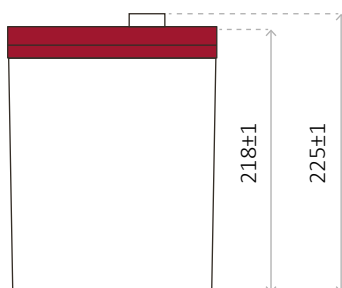


Great performance due to its deep discharge cycle life.



Perfect to use as accumulator in photovoltaic installations.

### DIMENSIONS



## GEL BATTERY 12V 100 AH



### GEL SERIES BATTERY

GEL series batteries are manufactured with special separators and silica gel immobilizing the electrolyte inside the battery. The proven silica gel technology can improve battery cycle life and performance at wider temperature range. The deep discharge cycle life is increased 50% compared normal battery.

### APPLICATION

- Emergency Power System
- Communication equipment
- Telecommunication systems
- Uninterruptible power supplies
- Power tools
- Marine equipment
- Medical equipment
- Solar and wind power system

### GENERAL FEATURES

- Safety Sealing
- Non-spillable construction
- High power density
- Excellent recovery from Deep discharge
- Thick plates and high active materials
- Longer life and low self-discharge design

### TECHNICAL SPECIFICATIONS

<b>BATTERY MODEL</b>	<b>Nominal voltage</b>		12V	
	<b>Rated capacity (100 hour rate)</b>		100Ah	
	<b>Cells Per battery</b>		6	
<b>DIMENSION</b>	<b>Length</b> 329 mm	<b>Width</b> 172 mm	<b>Height</b> 218 mm	<b>Total Height</b> 225 mm
<b>APPROX. WEIGHT</b>	26.2 kg ± 3%			
<b>CAPACITY @ 25°C</b>	<b>10 hour rate (9.1A)</b> 91 Ah	<b>5 hour rate (15.1A)</b> 75.5 Ah	<b>3 hour rate (23.8A)</b> 71.4 Ah	<b>2 hour rate (33.8A)</b> 67.6 Ah
<b>MAX. DISCHARGE CURRENT</b>	900 A (5 sec.)			
<b>INTERNAL RESISTANCE</b>	Full charged Vat 25°C: Approx. 4.4mΩ			
<b>CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)</b>	<b>40°C</b> 102%		<b>25°C</b> 100%	<b>0°C</b> 85%
<b>CHARGE METHOD @25°C</b>	<b>Cycle Use</b> 14.1-14.4V (Initial charging current less than 27A)		<b>Standby Use</b> 13.50-13.80V	

### BATTERY DISCHARGE TABLE

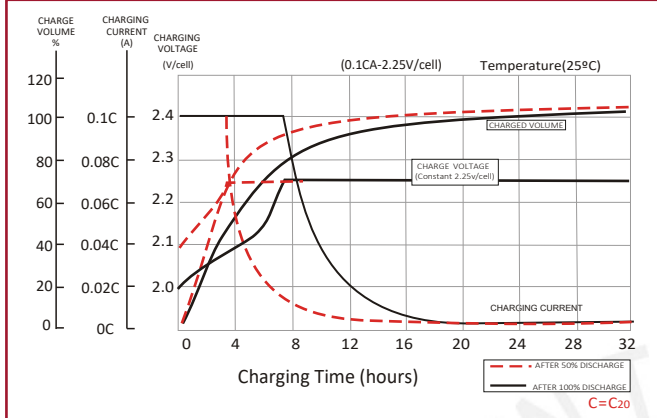
**CONSTANT CURRENT (AMP) AND CONSTANT POWER (WATT) DISCHARGE TABLE AT 25 °C**

F.V / TIME	10 min	15 min	30 min	60 min	3 hr	5 hr	10 hr	20 hr	
<b>1.60</b>	A	190.0	153.3	103.0	54.0	23.1	14.9	9.5	5.10
	W	338.00	273.50	183.83	97.16	42.90	28.13	18.18	9.88
<b>1.70</b>	A	171.00	144.00	98.00	51.00	22.50	14.60	9.30	5.00
	W	318.83	268.83	183.50	95.66	42.50	28.10	18.15	9.68
<b>1.75</b>	A	153.00	126.00	92.00	49.00	22.00	14.40	9.10	5.00
	W	290.66	239.83	176.00	94.83	42.50	28.10	17.93	9.65
<b>1.80</b>	A	144.00	117.00	85.00	48.00	21.40	14.00	9.00	4.90
	W	277.66	225.00	163.33	92.16	42.08	27.66	17.83	9.65
<b>1.85</b>	A	135.00	108.00	76.00	46.00	20.70	13.70	8.60	4.60
	W	261.16	209.83	147.50	90.00	40.98	27.16	17.20	9.27

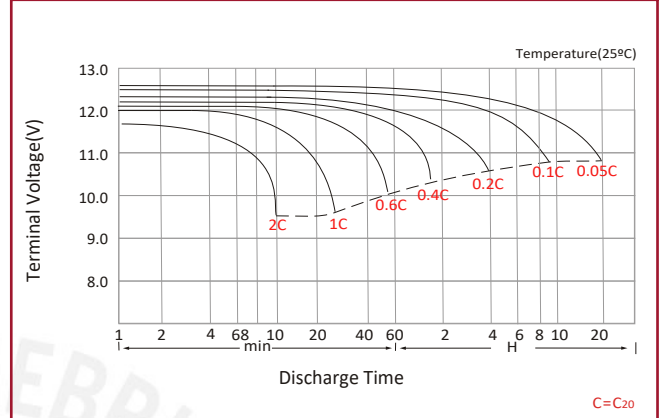


## BATTERY CHARACTERISTICS

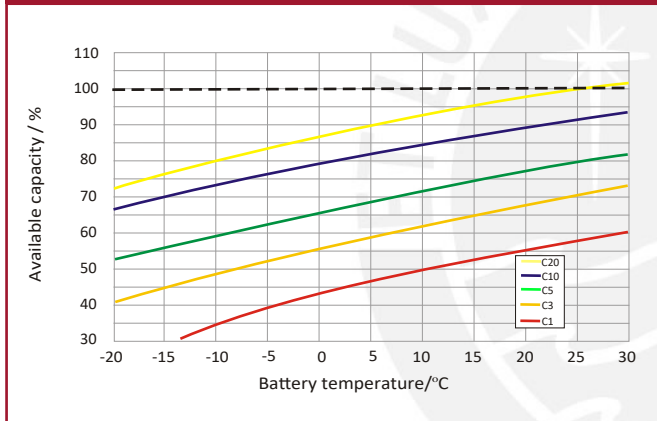
### Float charging characteristics



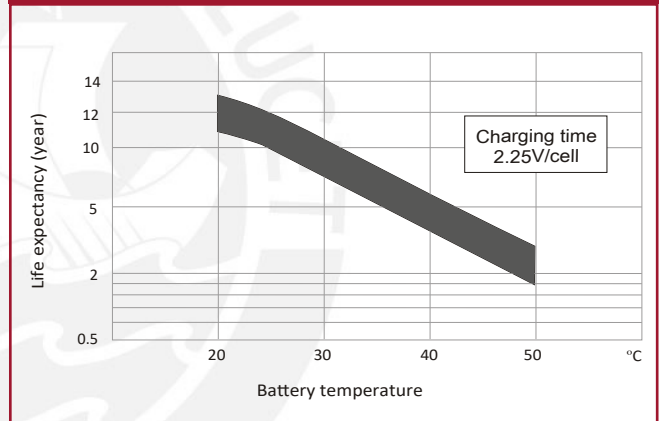
### Discharge characteristics



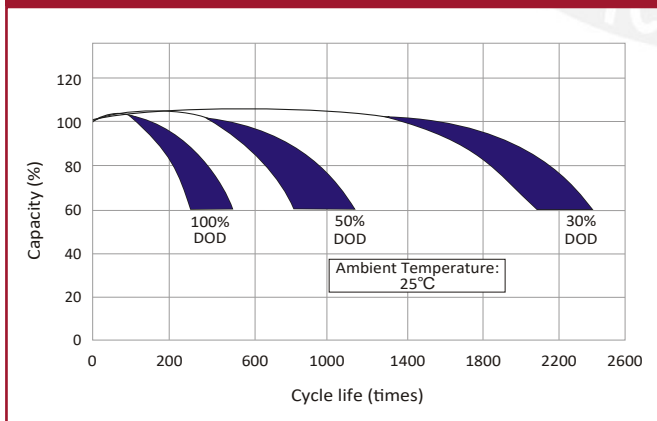
### Temperature effects in relation to battery capacity



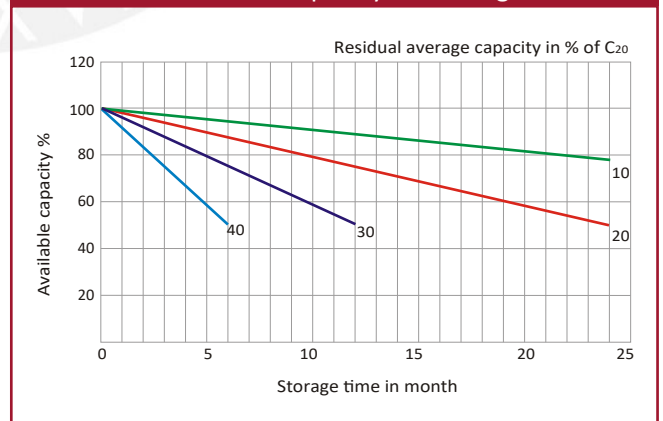
### Effect of temperature on long term float life



### Cycle life in relation to depth discharge



### General relation of capacity vs. storage time





**ANEXO 05. Ficha Técnica  
Inversor MUST SOLAR**

# Pure Sine Wave Solar Inverter

## PV5000 Series (3KW-5KW)



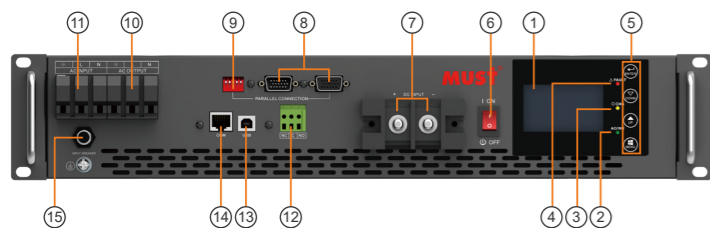
### Features

- Pure sine wave inverter
- Configurable input voltage range for home appliances and personal computers via LCD setting
- Configurable battery charging current based on applications via LCD setting
- Configurable AC/Solar Charger priority via LCD setting
- Compatible to mains voltage or generator power
- Auto restart while AC is recovering
- Overload/ Over temperature/ short circuit protection
- Smart battery charger design for optimized battery performance
- Cold start function
- Built-in MPPT solar charge controller 80A

### Introduction

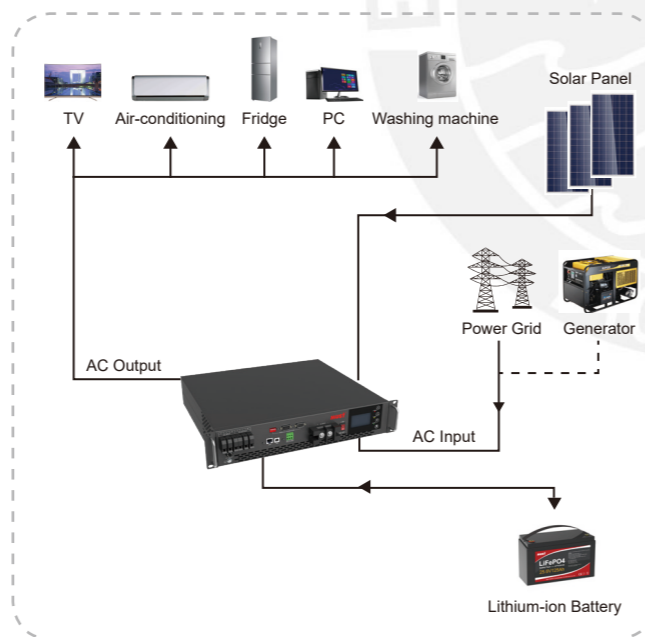
This is a multi-function inverter/charger, combining functions of inverter, solar charger and battery charger to offer uninterruptible power support with portable size. Its comprehensive LCD display offers user-configurable and easy-accessible button operation such as battery charging current, AC/solar charger priority, and acceptable input voltage based on different applications.

### Back panel printing description



1. LCD display
2. Status indicator
3. Charging indicator
4. Fault indicator
5. Function buttons
6. Power on/off switch
7. Battery input
8. Parallel communication port (only for parallel mode)
9. Parallel switch
10. AC output
11. AC input
12. Dry contact
13. USB
14. RS485 communication port
15. Circuit breaker

### Solar system connection



### Specification

MODEL		PV50-3K	PV50-4K	PV50-5K
Nominal Battery System Voltage		48V		
INVERTER OUTPUT	Rated Output Power	3KW	4KW	5KW
	Surge Power	6KW	8KW	10KW
	Waveform	Pure Sine Wave		
	Power factor	1		
	Output Voltage Regulation	230Vac±5%		
	Inverter Efficiency(Peak)	90%		
	Transfer Time	10ms typical (UPS \ VDE4105) 20ms typical (APL)		
	Nominal Input Voltage		230VAC	
AC INPUT	Selectable voltage range	170~280VAC (UPS) , 90~280VAC (APL) , 184~253VAC(VDE4105)		
	Input Voltage Waveform	Sinusoidal (utility or generator)		
	Frequency Range	50Hz \ 60Hz		
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	14VDC		
	MPPT Range @ Operating Voltage	60~163VDC		
	Standby Power Consumption	2W		
	Maximum PV Array Power	4000W		
	Maximum PV Charge Current:	80A		
	Maximum Efficiency	98%		
	Maximum AC Charge Current	60A		
Maximum Charge Current(PC+AC)	80A			
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Dimension (D*W*H), mm	400 x 468 x 86.3		
	Net Weight (kg)	10.0		
OTHER	Safety Certification	CE		
	Operating Temperature Range	-10°C to 40°C		
	Storage temperature	-15°C~ 60°C		