



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

## **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UNA MINICENTRAL SOLAR  
FOTOVOLTAICA AISLADA PARA EL SUMINISTRO DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA AL CENTRO POBLADO  
GUARRAGO UBICADO EN EL DISTRITO DE SÓCOTA,  
PROVINCIA DE CUTERVO, DEPARTAMENTO DE  
CAJAMARCA”**

**Autor:**

**Bach. FRITZGERALD DEMETRY DÍAZ AGURTO**

**Asesor:**

**Mag. Carlos Javier Cotrina Saavedra**

**Lambayeque – Perú**

**2018**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO**

**ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UNA MINICENTRAL SOLAR  
FOTOVOLTAICA AISLADA PARA EL SUMINISTRO DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA AL CENTRO POBLADO  
GUARRAGO UBICADO EN EL DISTRITO DE SÓCOTA,  
PROVINCIA DE CUTERVO, DEPARTAMENTO DE  
CAJAMARCA”**

**Autor:**

**Bach. FRITZGERALD DEMETRY DÍAZ AGURTO**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE : Mag. SEGUNDO ABELARDO HORNA TORRES**

**SECRETARIO : Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO**

**MIEMBRO : Dr. JORGE LUIS NOMBERRA TEMOCHE**

**ASESOR : Mag. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA**

**Lambayeque – Perú**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

### **TITULO**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UNA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AL CENTRO POBLADO GUARRAGO UBICADO EN EL DISTRITO DE SOCOTA, PROVINCIA DE CUTERVO, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA”**

## **CONTENIDOS**

**CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.**

**CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

**CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

**CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN.**

**CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES.**

---

**Mag. Segundo Abelardo Horna Torres**

**PRESIDENTE**

---

**Dr, Daniel Carranza Montenegro**

**SECRETARIO**

---

**Dr, Jorge Luis Nombera Temoche**

**MIEMBRO**

---

**Mag. Carlos Javier Cotrina Saavedra**

**ASESOR**

## DEDICATORIA

***“La gratitud es el sentimiento noble del alma generosa que engrandece el espíritu de quienes lo comparten”; el agradecimiento profundo al creador de todo lo existente, por todo lo que me concede en cada segundo de vida.***

### ***A Silvia Lusina y Dante Oriel.***

Por emprender conmigo está aventura de 5 años, por su fortaleza y apoyo incondicional cada día.

Me han dado todo lo que soy como persona: mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para ir en busca de mis objetivos.

Este pequeño paso que estoy dando hoy día y los que daré mañana... se los debo a Ustedes.

Mi eterno amor y agradecimiento mamá y papá.

### ***A Dante Oriel y Riwia Chavellyn.***

Siempre juntos hermanos, no existe ni existirá adversidad para nosotros.

### ***A Rita Díaz Vásquez.***

Siempre te tengo presente, protégeme y guíame con ese amor de madre que siempre nos brindaste.

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de investigación realizado en la Universidad Nacional: “Pedro Ruiz Gallo” es un esfuerzo conjunto de aquellas personas que pudieron contribuir con su desarrollo, mi gratitud para con todos ustedes.

A mi Familia, pilar fundamental en todo lo que soy, por estar conmigo en cada paso que doy.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional: “Pedro Ruiz Gallo”, por sus enseñanzas impartidas en aulas para afrontar un futuro competitivo.

Al Mag. Carlos Javier Cotrina Saavedra, asesor de especialidad, sus consejos, exigencia y conocimientos han permitido convertir el presente proyecto en una experiencia valiosa.

A los moradores del Centro Poblado: “Guarrago”, llevaré siempre conmigo su gran acogida y calidad humana.

## RESUMEN

En la presente tesis se realiza el diseño de una minicentral solar fotovoltaica (selección de módulos fotovoltaicos, reguladores, baterías, inversores, protecciones, etc.), para suministrar de energía eléctrica a 50 viviendas, 01 Iglesia, 01 Centro Educativo de niveles Primaria y Secundaria y 01 local comunal pertenecientes al Centro Poblado Guarrago, ubicado en el Distrito de Súcota, Provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca; además del diseño de las redes secundarias de distribución en 220 V. Se obtuvo que la minicentral eléctrica fotovoltaica estará compuesta por 66 paneles fotovoltaicos de 190 Wp de potencia cada uno, 24 baterías de acumuladores, 03 reguladores de carga y 03 inversores obteniendo una potencia instalada del sistema de captación de energía de 12,54 kWp. Se diseñó el esquema unifilar para poder identificar gráficamente los componentes de todo el sistema de generación y distribución de energía. Se presupuestó la minicentral solar fotovoltaica con red de distribución en baja tensión dando un total de:

S/. 468 736,87

**Palabras clave:** irradiancia, modulo fotovoltaico, inversor, generador fotovoltaico.

## ABSTRACT

In the present thesis is the design of a solar photovoltaic mini-plant (selection of photovoltaic modules, regulators, batteries, inverters, protections, etc.), to supply electricity to 50 homes, in addition to 01 church, 01 Educational Center levels primary and secondary and 01 local community; for the town of Guarrago, in the District of Socota, Cutervo Province, Department of Cajamarca, with the purpose of supplying electric power; in addition to the design of the secondary distribution networks in 220V. It was obtained that the mini photovoltaic power plant will be composed of 66 photovoltaic panels of 190 Wp each, 24 accumulator batteries, 03 charge regulators and 03 inverters. Giving an installed power of the energy capture system of 12.54 kWp. The single-line diagram was designed to graphically identify the components of the entire energy generation and distribution system. The solar photovoltaic mini-power plant with a low voltage distribution network was budgeted giving a total of:

S /. 468 736.87

**Keywords:** irradiance, photovoltaic module, inverter, photovoltaic generator.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	1
AGRADECIMIENTO .....	2
RESUMEN .....	3
ÍNDICE .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.1. Realidad Problemática .....	11
1.2. Formulación del Problema .....	12
1.3. Delimitación de la Investigación.....	12
1.3.1. Delimitación espacial.....	12
1.3.2. Delimitación Temporal .....	13
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS .....	14
1.5. Limitaciones de la TESIS .....	15
1.6. Objetivos de la TESIS .....	16
1.6.1. Objetivo General .....	16
1.6.2. Objetivo Específicos .....	16
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes de Estudios .....	17
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	23
2.2.1. Radiación solar .....	23
2.2.2. Células fotovoltaicas.....	34
2.2.3. Módulos fotovoltaicos.....	46
2.2.4. Sistemas fotovoltaicos.....	54
2.2.5. Centrales soles .....	65
2.2.6. Componentes de un sistema fotovoltaico .....	70
2.2.7. Marco legal.....	87
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada. ....	92
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	99
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	99



3.2. Población y Muestra.....	99
3.3. Hipótesis.....	99
3.1. Variables – Operacionalización.....	100
3.2. Métodos y Técnicas de investigación .....	101
3.3. Descripción de los instrumentos utilizados .....	102
3.4. Análisis Estadístico e interpretación de los datos.....	103
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	104
4.1. Propuesta de la investigación.....	104
4.1.1. Visitas al Centro Poblado: “Guarrago” .....	104
4.1.2. Equipamiento de la minicentral fotovoltaica.....	104
4.1.3. Sistema de distribución en 220 V .....	105
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	106
5.1. Energía eléctrica promedio diaria requerida para el Centro Poblado: “Guarrago” .....	106
5.1.1. Población y vivienda actual - Proyección para el Centro Poblado: “Guarrago” .....	107
5.1.2. Consumo de energía necesaria diaria (Wh/día) .....	108
5.2. Radiación Solar promedio en el Centro Poblado: “Guarrago” .....	116
5.2.1. Evaluación de la Radiación Solar .....	116
5.3. Dimensionamiento de la Minicentral Solar .....	121
5.3.1. Cálculo del generador fotovoltaico .....	121
5.3.2. Dimensionamiento del Regulador .....	127
5.3.3. Cálculo de la potencia del inversor requerido .....	129
5.3.4. Dimensionamiento del banco de baterías.....	130
5.3.5. Cálculo de la selección de los conductores de la instalación. ....	134
5.3.6. Protección contra sobreintensidades .....	137
5.4. Diseño del sistema de distribución eléctrica en 220 V .....	142
5.4.1. Cálculos eléctricos .....	142
5.4.2. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes. ....	146
5.4.3. Hipótesis de estado .....	147
5.4.4. Esfuerzos mecánicos en el conductor portante.....	148
5.4.5. Cálculo de cambio de estado.....	148
5.5. Metrado y presupuesto.....	153
5.5.1. Metrado y presupuesto de la minicentral .....	153

5.5.2. Metrado y presupuesto de la red de distribución secundaria .....	154
5.5.3. Presupuesto total del sistema de generación, distribución de energía eléctrica en Centro Poblado: “Guarrago” .....	157
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	158
6.1. Conclusiones .....	158
BIBLIOGRAFÍA.....	159
ANEXO N° 01. FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SELECCIONADOS .....	161
ANEXO N° 02. FICHA TÉCNICA DE LOS REGULADOR.....	161
ANEXO N° 03. FICHA TÉCNICA DE LOS INVERSORES.....	161
ANEXO N° 05. CATALOGO DE CONDUCTORES THW-90 .....	161
ANEXO N° 08. PLANO DEL EQUIPAMIENTO DE LA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA.....	161
ANEXO N° 09. PLANO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN.....	161
ANEXO N° 10. PLANO DE MONTAJE DE LOS PANALES FOTOVOLTAICOS .....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Ubicación del Centro Poblado: “Guarrago” .....	12
<b>Figura N° 2:</b> Espectro electromagnético de la radiación solar. ....	23
<b>Figura N° 3:</b> Esfera Celeste .....	24
<b>Figura N° 4:</b> Coordenadas solares.....	25
<b>Figura N° 5:</b> Elevación solar.....	26
<b>Figura N° 6:</b> Acimut Solar.....	26
<b>Figura N° 7:</b> Masa de aire (AM) para diferentes ángulos cenitales. ....	28
<b>Figura N° 8:</b> Tipos de radiación sobre una superficie.....	30
<b>Figura N° 9:</b> Esquema de distribución de la radiación solar.....	31
<b>Figura N° 10:</b> Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el Caribe. ....	32
<b>Figura N° 11:</b> Concepto de horas sol pico. ....	34
<b>Figura N° 12:</b> Configuración de los materiales semiconductores. ....	36
<b>Figura N° 13:</b> Dopado para el átomo de Silicio. ....	37
<b>Figura N° 14:</b> Fabricación de célula fotoeléctrica. ....	39
<b>Figura N° 15:</b> Lugar en el que se mide la tensión en circuito abierto (a) y la corriente de cortocircuito (b).....	42
<b>Figura N° 16:</b> Características i-v y p-v de una célula solar.....	44
<b>Figura N° 17:</b> Espaciamiento entre células fotovoltaicas.....	46
<b>Figura N° 18:</b> Construcción de un módulo fotovoltaico. ....	47
<b>Figura N° 19:</b> Curva de potencia .....	50
<b>Figura N° 20:</b> Conexión en serie de módulos fotovoltaicos .....	52
<b>Figura N° 21:</b> Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos.....	53
<b>Figura N° 22:</b> Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos .....	54
<b>Figura N° 23:</b> Sistema fotovoltaico aislado .....	58
<b>Figura N° 24:</b> Central Fotovoltaica en Beneixama (20 MW).....	61
<b>Figura N° 25:</b> Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.....	63
<b>Figura N° 26:</b> Sistema híbrido .....	64
<b>Figura N° 27:</b> Aplicación del sistema híbrido .....	65
<b>Figura N° 28:</b> Esquema de la constitución de una C.T.Solar de torre central. Una vez que el fluido pasa por el motor de vapor, se enfría y es elevado (línea azul) hasta el receptor, donde es calentado y enviado hacia abajo (línea roja), para completar el ciclo. ....	67
<b>Figura N° 29:</b> Sistema fotovoltaico conectado a red (a) e instalación fotovoltaica autónoma (b).....	68
<b>Figura N° 30:</b> Central Solar Fotovoltaica.....	70
<b>Figura N° 31:</b> Conexiones del regulador de una instalación fotovoltaica .....	71
<b>Figura N° 32:</b> Esquema general de una instalación autónoma con inversor .....	73
<b>Figura N° 33:</b> Curva profundidad de descarga de una batería.....	76
<b>Figura N° 34:</b> Tipos de baterías utilizadas en instalaciones solares. ....	77

<b>Figura N° 35:</b> Estructura fija .....	81
<b>Figura N° 36:</b> Instalación de un seguidor solar.....	82
<b>Figura N° 37:</b> Detalle de los componentes de un seguidor solar .....	82
<b>Figura N° 38:</b> Paneles fotovoltaicos como ventanas, ciudad de Philadelphia .....	83
<b>Figura N° 39:</b> Aplicaciones de células de película delgada .....	84
<b>Figura N° 40:</b> Variación de la potencia en función de la tensión de trabajo .....	84
<b>Figura N° 41:</b> Concentrador solar instalado por Solar System en Australia.....	85
<b>Figura N° 42:</b> Alcalde Delegado C.P: Sr. Rómulo Rojas Sánchez. ....	106
<b>Figura N° 43:</b> Local Comunal C.P: "Guarrago".....	109
<b>Figura N° 44:</b> Iglesia Comunal - C.P: "Guarrago" .....	110
<b>Figura N° 45:</b> I.E:"10379" C.P:"Guarrago" .....	111
<b>Figura N° 46:</b> I.E: "JoséMaría Escrivá de Balaguer" .....	112
<b>Figura N° 47:</b> Radiación solar en el departamento de Cajamarca .....	117
<b>Figura N° 48:</b> Latitud y Longitud del distrito de Sócuta .....	118
<b>Figura N° 49:</b> Datos eléctricos del Panel Solar SIMAX .....	122
<b>Figura N° 50:</b> Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas.....	138
<b>Figura N° 51:</b> Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano .....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante .....	48
<b>Tabla N° 2:</b> Operacionalización de variables .....	100
<b>Tabla N° 3:</b> Tasa de crecimiento promedio anual - departamento de Cajamarca .....	107
<b>Tabla N° 4:</b> Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda particular.....	108
<b>Tabla N° 5:</b> Consumo de energía eléctrica para el Local Comunal .....	109
<b>Tabla N° 6:</b> Consumo de energía eléctrica Iglesia Comunal .....	110
<b>Tabla N° 7:</b> Consumo de energía eléctrica para I.E:"10379" .....	111
<b>Tabla N° 8:</b> Consumo de energía eléctrica para I.E: "J.M.E.B" .....	112
<b>Tabla N° 9:</b> Consumo de energía eléctrica promedio diario sin alumbrado público ....	113
<b>Tabla N° 10:</b> Potencia de alumbrado público.....	115
<b>Tabla N° 11:</b> Radiación solar en el Distrito de Sócata, según la NASA .....	119
<b>Tabla N° 12:</b> Radiación solar en el departamento de Cajamarca con el Software SOLARIUS PV.....	120
<b>Tabla N° 13:</b> Especificaciones técnicas del controlador Blue Solar 150/85.....	128
<b>Tabla N° 14:</b> Especificaciones técnicas del inversor PVS300-TL-3300W-2 .....	129
<b>Tabla N° 15:</b> Características técnicas de la batería ROLLS 12 CS 11 PS .....	131
<b>Tabla N° 16:</b> Caída de tensión por tramo de la instalación fotovoltaica .....	135
<b>Tabla N° 17:</b> Cálculo de la sección de los conductores eléctricos por tramo .....	136
<b>Tabla N° 18:</b> Características eléctricas de los conductores THW-90 .....	137
<b>Tabla N° 19:</b> Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas .....	139
<b>Tabla N° 20:</b> Parámetros y factores de caída de tensión para cables autoportantes. ....	144
<b>Tabla N° 21:</b> Distancia mínima de seguridad.....	146
<b>Tabla N° 22:</b> Hipótesis para el cambio de estado .....	147
<b>Tabla N° 23:</b> Características de los cables autoportantes. ....	149
<b>Tabla N° 24:</b> Suministro de materiales para la minicentral solar fotovoltaica.....	153
<b>Tabla N° 25:</b> Costo total directo para la minicentral solar fotovoltaica .....	153
<b>Tabla N° 26:</b> Valor referencial de la red de distribución eléctrica secundaria .....	154
<b>Tabla N° 27:</b> Suministro de materiales de la red de distribución secundaria .....	155
<b>Tabla N° 28:</b> Montaje electromecánico para la red de distribución secundaria .....	156
<b>Tabla N° 29:</b> Presupuesto total .....	157

## CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

En el Centro Poblado Guarrago, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca aún no se cuenta con servicio de energía eléctrica, problema que afecta una población total de 214 habitantes distribuidos en 50 viviendas, además de 01 iglesia, 01 centro educativo de niveles primaria y secundaria para estudiantes de la comunidad y 01 local comunal. **De continuar esta problemática** los pobladores seguirán haciendo uso de velas, mecheros y baterías para su alumbrado. El uso de éstas resulta ineficientes, tóxicas y por consiguiente de alto riesgo para la salud.

En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de energía solar es bastante grande y uniforme durante todo el año.

En base a lo mencionado anteriormente y considerando que la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano, nos motiva a la investigación y recopilación de datos con la finalidad de utilizar la energía solar como fuente para el suministro de energía eléctrica.

## 1.2. Formulación del Problema

¿Cómo podemos suministrar energía eléctrica al Centro Poblado Guarrago, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, utilizando la energía solar?

## 1.3. Delimitación de la Investigación

### 1.3.1. Delimitación espacial

#### **Ubicación Política:**

Departamento: Cajamarca.

Provincia: Cutervo.

Distrito: Sócota.



**Figura N° 1:** Ubicación del Centro Poblado: “Guarrago”

**Fuente:** Google Maps

### **Ubicación Geográfica:**

El Centro Poblado: “Guarrago” se encuentra ubicado en:

**LATITUD:** -6,277662337379552.

**LONGITUD:** -78,68944092000713.

### **Límites:**

***Norte:*** caserío Liguñac.

***Sur:*** caserío Chontas.

***Este:*** caserío Nuevo Oriente.

***Oeste:*** caserío Minas.

### **1.3.2. Delimitación Temporal**

El presente trabajo de Tesis tuvo una duración de 06 meses.



#### **1.4. Justificación e Importancia de la TESIS**

La integración de una minicentral solar fotovoltaica para la generación y suministro de energía eléctrica al Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, se justifica de la siguiente manera:

##### **- Justificación ambiental:**

La integración de la minicentral solar fotovoltaica en el Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, no efectúa tipo de contaminación alguno ya que la energía solar es una de las fuentes menos agresivas que no produce emisiones de dióxido de carbono y los efectos negativos sobre el medio ambiente, éstos son muchos menores que los generados por los combustibles fósiles.

##### **- Justificación técnica:**

Se llegará a la optimización de los equipos para este trabajo de investigación, que brindaran el suministro de energía eléctrica al Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.

**- Justificación económica:**

Beneficiará a toda la población del Centro Poblado evitando gastos innecesarios de iluminación (velas, pilas, baterías, etc).

**- Justificación social:**

El trabajo de investigación tiene como beneficio la mejor calidad de vida de los pobladores del Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.

**- Justificación científica:**

Promover el uso de las energías no convencionales, la energía fotovoltaica con su tecnología.

### **1.5. Limitaciones de la TESIS**

Los datos de radiación solar se limitaron a tres fuentes, las cuales son: el Atlas Solar del Perú, Web Site Oficial de la NASA y el software Solarius Plus.

## **1.6. Objetivos de la TESIS**

### **1.6.1. Objetivo General**

Dimensionar una minicentral solar fotovoltaica aislada para el suministro de energía eléctrica al Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.

### **1.6.2. Objetivo Específicos**

- a) Determinar la energía requerida por la población del Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.
- b) Evaluar la radiación solar promedio del lugar.
- c) Determinar el equipamiento para la minicentral solar fotovoltaica.
- d) Diseñar la red de distribución eléctrica en baja tensión de 220 V.
- e) Elaborar el presupuesto para la minicentral solar fotovoltaica.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de Estudios

#### Contexto Internacional

**Fabio de Jesús Acevedo Garcés** en su tesis titulada: “**Diseño de una instalación solar fotovoltaica de 3kW**” se describe brevemente el desarrollo teórico de la tecnología fotovoltaica, desde el descubrimiento del fenómeno fotoeléctrico en el año de 1839, hasta la actualidad. Se explica la composición y el funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico, y de cada una de sus partes o elementos. Se detalla la construcción, operación y comportamiento de los módulos solares fotovoltaicos de silicio, se incluyen curvas de las variables que los caracterizan. De igual forma, se definen las baterías de plomo ácido, los reguladores – controladores de carga y los inversores CC/CA para aplicaciones solares de tipo aislado. Se definen las características técnicas de la instalación solar fotovoltaica objeto de este trabajo, su lugar de instalación y su aplicación específica. Se determinan las variables a tener en cuenta en el diseño: cargas a alimentar, demanda máxima, consumo de energía eléctrica diario y mensual y radiación solar. Posteriormente, se presentan los cálculos necesarios para dimensionar el sistema solar fotovoltaico; se calcula la radiación solar sobre los paneles a instalar, se calculan y dimensionan todos los equipos de la instalación: paneles, regulador, banco de baterías, inversor y calibres de

cables y de tuberías. Finalmente, se elaboran los esquemas que completan el diseño de la instalación solar fotovoltaica<sup>1</sup>.

**Héctor Domínguez Gonzales**; en su proyecto para optar el título de maestría titulado: **“Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el COBAEV 35 Xalapa”** nos explica que hay países en Europa en donde existen tecnologías fotovoltaicas muy difundidas, aceptadas y aplicadas. Estos sistemas satisfacen las necesidades básicas de la electricidad de familias ya que este tipo de energía suministra un servicio mejor aparte de ser más ecológica y económica. Las ventajas de estos sistemas radican en su simplicidad, ya que por lo general son sistemas simples y modulares, se instalan fácilmente y pueden ampliar el sistema, la reparación y cambio de componentes es fácil y económico y son sistemas adaptables a la mayoría de comunidades y a sus necesidades, siempre y cuando haya luz solar. Considerando que no se emiten gases que contribuyan al efecto invernadero o humos tóxicos y la energía solo se produce donde es necesario siendo los costos de esta tecnología bajos en relación a tecnologías convencionales<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Acevedo Garcés, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. Bogotá.

<sup>2</sup> Domínguez Gonzales, Hector. «Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Cobaev 35 Xalapa.» 2012.

Así mismo **Juana Kareli Tercero Ubau** en su trabajo de tesis denominado: "**Diseño de una minicentral solar fotovoltaica autónoma con una capacidad de 2,7 kWp para electrificar la comunidad de La Fortuna-MiraFlor Moropotente, Estelí**". Este proyecto está dividido en dos fases: La primera fase es el diseño y/o dimensionado del sistema solar fotovoltaico, llevada a cabo en Alemania, en FH Bielefeld - Universidad de Ciencias Aplicadas y la segunda fase es el diseño de la Red de Distribución de la energía producida. Como objetivo principal de dichas fases culminadas es ejecutar este pequeño proyecto, que está dirigido a beneficiar a la comunidad de La Fortuna, proporcionando energía eléctrica con fuentes de energía renovable y así evitar daños al lugar que pertenece a un área protegida, con esto se espera mejorar la calidad de vida de las personas, proporcionándoles el servicio de energía eléctrica, con la energía que nos proporciona el sol, transformándola en energía eléctrica a través de módulos fotovoltaicos, la cual está diseñada para generar 2,7 kWp a 11 viviendas y una iglesia a las que se les distribuirá la energía en la comunidad La Fortuna, que con el tiempo cuya capacidad puede aumentar en base a la cantidad demandada de energía<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Tercero Ubau, Juana Karelia. «Diseño de una minicentral solar fotovoltaica autónoma con una capacidad de 2,7 kWp para electrificar la comunidad de La Fortuna-MiraFlor Moropotente, Estelí.» Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Estelí-Nicaragua, 2015.

## **Contexto Nacional**

**Delfor Flavio Muños Anticona** en su trabajo de tesis: "**Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país**" se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución inmediata a los problemas de electrificación rural en zonas aisladas y de frontera, con población dispersa y baja demanda de energía y que no cuentan con la posibilidad de acceder a los sistemas de electrificación convencionales. La aplicación de esta alternativa se basa en criterios principales tales como el de priorización, análisis de sostenibilidad y un escenario probable con el cual se desea cumplir las metas propuestas en el Plan Nacional de Electrificación Rural<sup>4</sup>.

**Jorge Serván Sócola** en su tesis titulada "**Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red**" donde el objetivo principal del trabajo era desarrollar una metodología que permita realizar un análisis técnico económico de un sistema de generación de baja potencia, que utilice recursos energéticos renovables y que se encuentra conectado a la red eléctrica.

Como primer paso nos dice se debe determinar la demanda energética. Para el desarrollo de su tesis, se ha escogido como caso de estudio, un usuario que desea implementar el uso de fuentes energéticas renovables,

---

<sup>4</sup> Muñoz Anticona, Delfor Flavio. «Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país.» Lima, 2005.

como medio de abastecimiento energético para su vivienda ubicada en la playa de Cangrejos, perteneciente al distrito de Paita.

Posterior al cálculo de la demanda energética, se realizó un análisis en estado estacionario con la finalidad de evaluar el potencial energético disponible en la zona. Se Utilizó la data meteorológica de radiación solar y velocidad del viento, tomada en el lugar de emplazamiento del proyecto por el radar de la Universidad de Piura, luego se calculó el potencial solar y eólico disponibles y se procede a dimensionar correctamente el sistema para la demanda energética calculada previamente.

Dimensionado el sistema se procedió a seleccionar los componentes principales que lo conforman, se realizan los cálculos para el dimensionamiento del cableado y protecciones eléctricas del sistema, y se selecciona el tipo de estructuras de soporte, así como la ubicación con mejores prestaciones dentro del área de emplazamiento.

Seleccionado todos los componentes de la instalación y el presupuesto inicial requerido, se identificaron los egresos e ingresos anuales del proyecto, con la finalidad de evaluar económicamente la instalación y analizar los factores claves que garanticen la rentabilidad del proyecto<sup>5</sup>.

Según **Paulo Daniel Valdiviezo Sales** en su trabajo de tesis denominado: "**Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de**

---

<sup>5</sup> Servan Socola, Jorge. «Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red.» Piura, 2014.



**energía eléctrica a 15 computadoras portátiles de la PUCP**". En esta tesis se plantea el uso de la energía solar, como alternativa de solución.

El principal objetivo de la tesis es fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer a 15 computadoras portátiles en la PUCP.

Se definen los conceptos más relevantes, los principales fundamentos teóricos y las características de los equipos que conforman una instalación fotovoltaica aislada, utilizando bibliografía de autores con presencia en la industria fotovoltaica. Los datos de radiación solar fueron obtenidos de la Estación climatológica Hipólito Unanue en la PUCP y se estima la demanda del consumo energético, el cual tiene un valor de 158,4 Ah/día. Luego, se dimensiona la cantidad de baterías, paneles fotovoltaicos, inversores y controladores a emplear.

12 baterías 250 Ah / 12V (3 ramales de 2 paralelo y 2 en serie).

24 paneles de 150 Wp. (3 ramales de 4 paralelo y 2 en serie)

3 controladores de 50 A y 24V.

1 inversor 24V/230V – 1 200 W

Asimismo, se estima la distancia y características de los cables de acuerdo a la ubicación y cargas, y se dimensionan elementos de protección<sup>6</sup>.

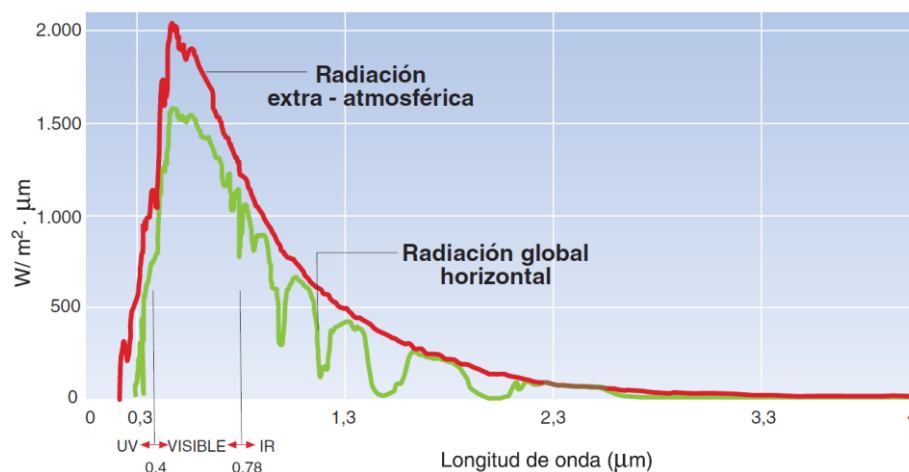
---

<sup>6</sup> Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima.

## 2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

### 2.2.1. Radiación solar

El sol genera energía mediante reacciones nucleares de fusión que se producen en su núcleo. Esta energía recibe el nombre de radiación solar, se transmite en forma de radiación electromagnética y alcanza la atmósfera terrestre en un conjunto de radiaciones o espectro electromagnético con longitudes de onda que van desde los 0,15  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$  aproximadamente, tal como se muestra en la Figura 2. La parte del espectro que va de 0,40  $\mu\text{m}$  a 0,78  $\mu\text{m}$  forma el espectro visible que denominamos comúnmente luz, el resto del espectro que no es visible que lo forman las radiaciones con longitud de onda menores a 0,4  $\mu\text{m}$  denominadas radiaciones ultravioletas (UV) y con longitudes de onda mayores a 0,78  $\mu\text{m}$  denominadas radiaciones infrarrojas (IR) (Castejon, 1998).



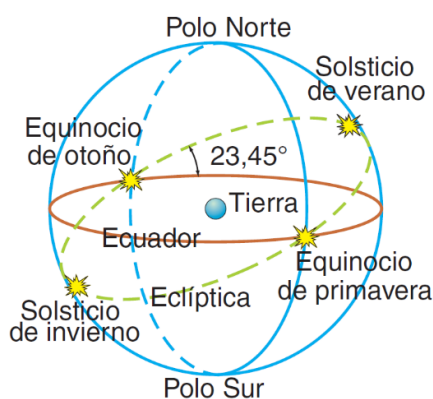
**Figura N° 2:** Espectro electromagnético de la radiación solar.

**Fuente:** (Castejon, 1998)

### 2.2.1.1. Coordenadas solares

Para situar la posición del sol en el cielo se utiliza el concepto de esfera celeste, que es una esfera imaginaria de radio arbitrario, centrado en el observador, sobre la que se proyecta la posición del sol (Figura 3). Cada punto de la esfera celeste es una dirección en el cielo vista desde la tierra.

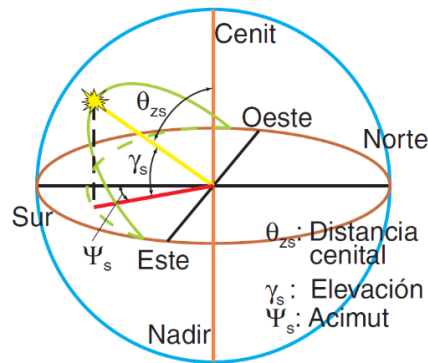
Este sistema de representación muestra las posiciones del sol como si tuviera u movimiento aparente alrededor de la tierra siguiendo una trayectoria dentro del plano de la eclíptica que tiene un ángulo de 23,45 grados con el Ecuador de la esfera celeste. (Castejon, 1998)



**Figura N° 3:** Esfera Celeste

**Fuente:** (Castejon, 1998)

En el sistema de coordenadas de la esfera celeste, que es similar al usado para determinar latitud y longitud terrestres, se especifica la posición del sol mediante dos ángulos que se denominan: elevación y acimut, tal como se muestra en la Figura 4.



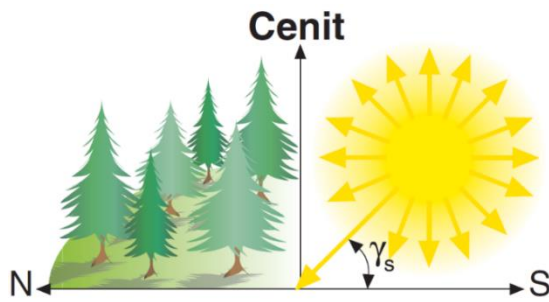
**Figura N° 4:** Coordenadas solares

**Fuente:** (Castejon, 1998)

Estas coordenadas solares se definen respecto a la dirección vertical que es la dirección que marcaría una plomada, que apunta hacia abajo, se dirigiría hacia el centro de la tierra y hacia arriba interceptaría a la esfera celeste en un punto denominada **cenit** (Figura 4) (Castejon, 1998).

La intersección con el hemisferio opuesto de la esfera celeste definiría el punto opuesto al cenit denominado nadir. Las definiciones de las coordenadas solares son:

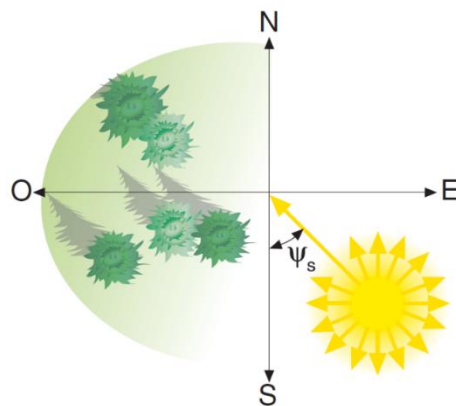
- a) **Elevación solar  $\gamma_s$ :** Es el ángulo que forman los rayos solares con la horizontal (Figuras 4 y 5). Toma valores que van de  $(90^\circ - \varphi - \delta)$  en el solsticio de invierno a  $(90^\circ - \varphi + \delta)$  en el solsticio de verano, siendo  $\varphi$  la latitud del lugar y  $\delta$  la declinación. (Castejon, 1998).



**Figura N° 5:** Elevación solar

**Fuente:** (Castejon, 1998)

- b) **Acimut solar  $\psi_s$**  : Es el ángulo formado por el meridiano del sol y meridiano del lugar, tomado como referencia el sur en el hemisferio norte y el norte en el hemisferio sur , tiene valores que van desde  $0^\circ$  a  $180^\circ$  hacia el oeste y  $0^\circ$  a  $-180^\circ$  hacia el este (Figuras 4 y 6). (Castejon, 1998).



**Figura N° 6:** Acimut Solar

**Fuente:** (Castejon, 1998)

- c) **Angulo o distancia cenital  $\theta_{zs}$** : Es el ángulo formado por la dirección del sol y la vertical. Es el ángulo complementario de la elevación solar (Figura 4). (Castejon, 1998).

### 2.2.1.2. Efectos de la atmosfera sobre la radiación solar<sup>7</sup>

La radiación solar atraviesa la atmósfera antes de llegar a la superficie terrestre y se altera por el aire, la suciedad, el vapor de agua, los aerosoles en suspensión, y otros elementos de la atmosfera. Estas alteraciones son de diferente tipo según la propiedad óptica que se pone de manifiesto:

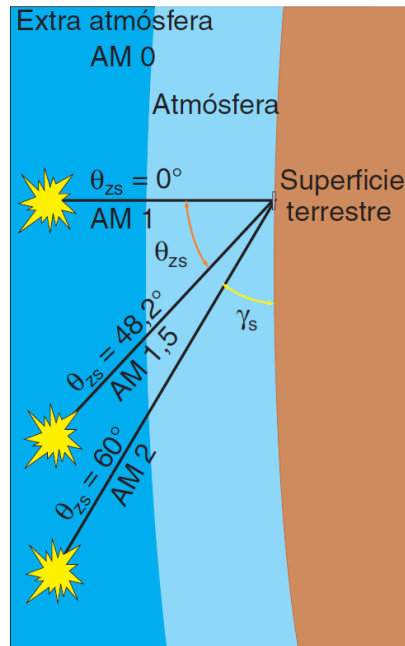
- **Reflexión:** nubes.
- **Absorción:** ozono, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua.  
Solo actúa sobre algunas longitudes de onda de la radiación.
- **Difusión:** polvo, aerosoles, gotas de agua.

Estos efectos varían dependiendo de la cantidad de atmósfera que la radiación solar ha de atravesar. Para especificar esta distancia se utiliza el concepto de masa de aire (AM) que es el espesor de la atmósfera terrestre que recorre la radiación solar directa expresado como múltiplo del camino que recorrería en una dirección perpendicular a la superficie terrestre. (Castejon, 1998).

Cuando el sol está en su posición más alta, en un día sin nubes (Figura 7) la masa de aire atravesada es mínima y vale 1 a nivel del mar. Se indica como AM1. El valor de AM0 se utiliza para especificar las condiciones sobre una superficie normal al sol fuera de la atmosfera terrestre.

---

<sup>7</sup> (Castejon, 1998)



**Figura N° 7:** Masa de aire (AM) para diferentes ángulos cenitales.

**Fuente:** (Castejon, 1998)

Se puede calcular la masa de aire con la expresión:

$$AM = \frac{1}{\sin \gamma_s} = \frac{1}{\cos \theta_{zs}} \dots (1)$$

Donde:

$\gamma_s$ : es el ángulo de elevación solar (grados).

$\theta_{zs}$ : es el ángulo o distancia cenital.

Cuando se especifica la potencia máxima de un módulo fotovoltaico en sus hojas de datos se indica para un valor de AM 1,5 que corresponde a un ángulo cenital  $\theta_{zs}$  de  $48,2^\circ$ .

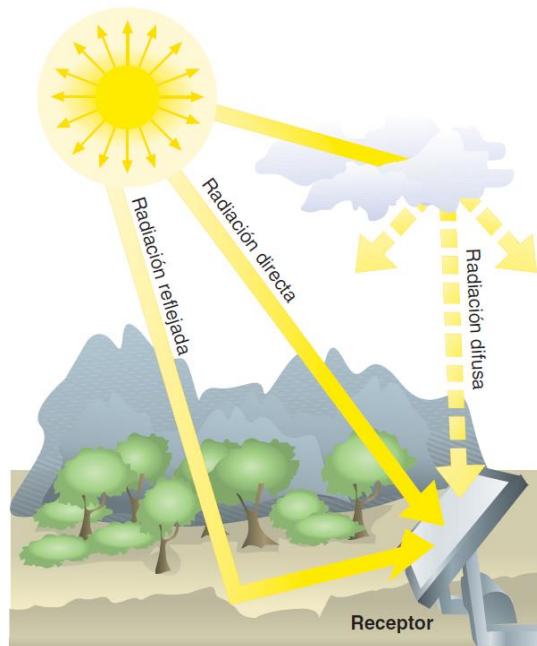
### 2.2.1.3. Tipos de radiación solar sobre una superficie

La radiación solar sobre la superficie terrestre tiene variaciones temporales, siendo unas aleatorias, como la nubosidad, y otras previsibles, como son los cambios estacionales o el día y la noche; provocados por los movimientos de la Tierra.

Para facilitar su estudio, la radiación solar sobre un receptor se clasifica en tres componentes: La difusa y reflejada o de albedo (Figura 8).

- **Radiación directa:** la forman los rayos recibidos directamente del sol.
- **Radiación difusa:** procedente de toda la bóveda del cielo, excluyendo el disco solar, la forman los rayos dispersados por la atmósfera en dirección al receptor (por ejemplo, en un día completamente nublado toda la radiación recibida es difusa).
- **Radiación reflejada o de albedo:** reflejada por la superficie terrestre hacia el receptor. Depende directamente de la naturaleza de las montañas, lagos, edificios, que rodean al receptor. (Castejon, 1998).



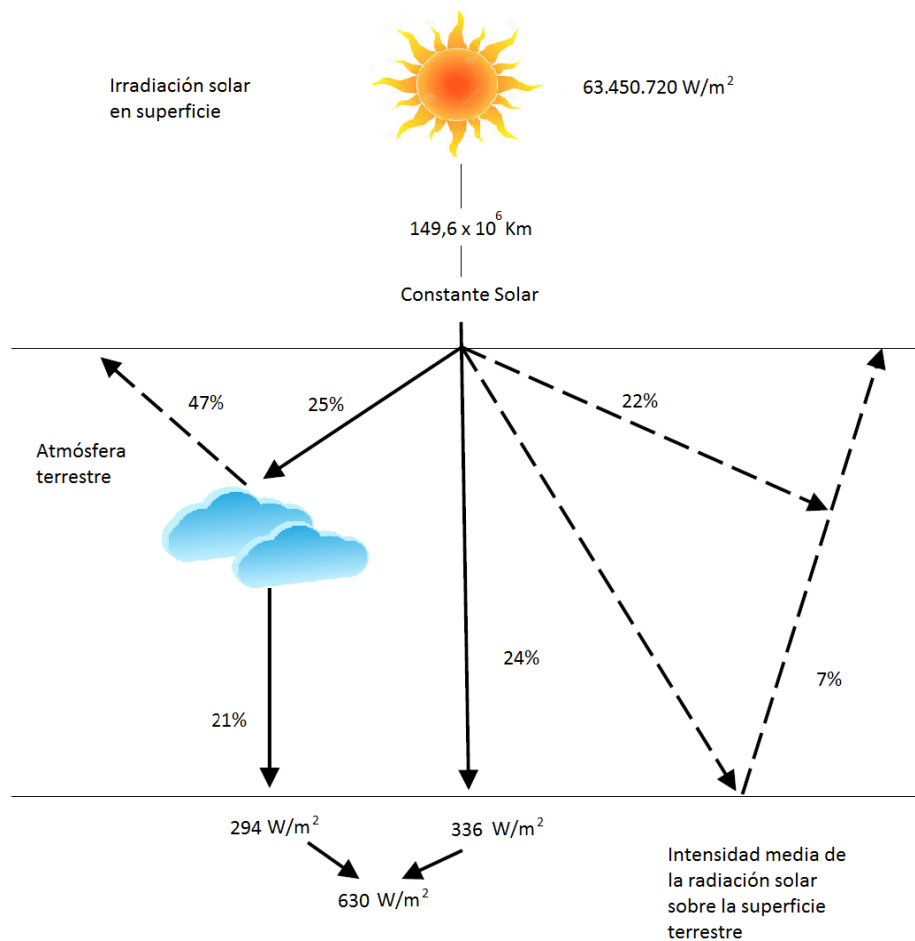


**Figura N° 8:** Tipos de radiación sobre una superficie

**Fuente:** (Castejon, 1998)

La suma de todas las radiaciones descritas recibe el nombre de **radiación global** que es la radiación solar total que recibe la superficie del receptor y por lo tanto la que nos interesa conocer y cuantificar.

La radiación solar absorbida por la atmósfera terrestre no es aprovechada al 100 %. Según el Instituto Geofísico del Perú, en términos generales, el 24 % de la radiación llega directamente, el 21 % de la radiación no llega directamente. Mientras que el 29 % se pierde en el espacio (ver figura 9).



**Figura N° 9:** Esquema de distribución de la radiación solar

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la figura 10.



**Figura N° 10:** Mapa de irradiación horizontal en Latinoamérica y el Caribe.

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)

#### 2.2.1.4. Irradiancia e irradiación<sup>8</sup>

Para cuantificar la radiación solar se utilizan dos magnitudes que corresponden a la potencia y la energía de radiación que llegan a la unidad de superficie, se denominan irradiancia e irradiación y sus definiciones y unidades son las siguientes:

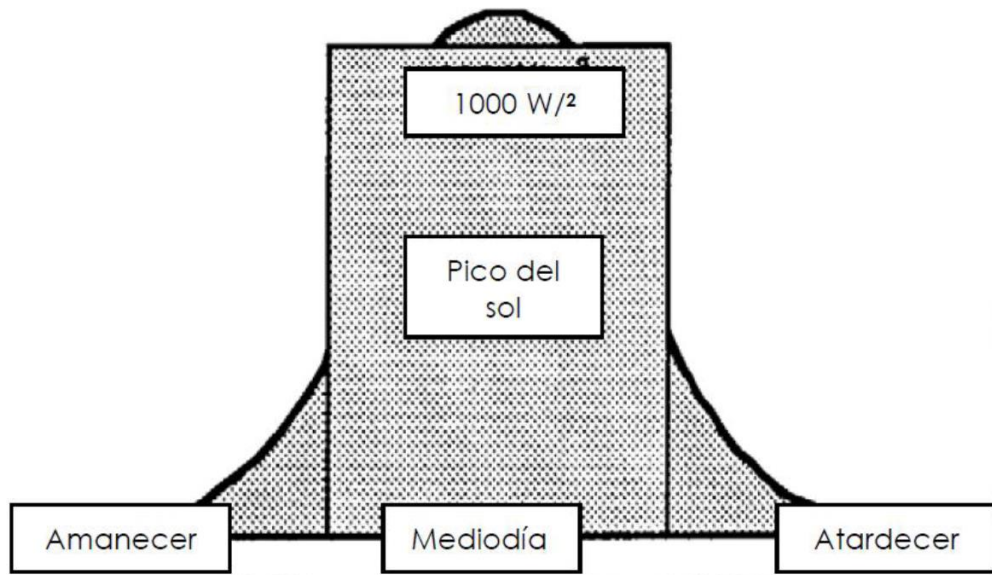
<sup>8</sup> (Castejon, 1998)

- **Irradiancia:** Potencia o radiación incidente por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar. Su unidad es  $\text{W/m}^2$ . (Castejon, 1998)
- **Irradiación:** Integración o suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado. Es la cantidad de energía solar recibida durante un periodo de tiempo. Sus unidades son  $(\text{J/m}^2 \text{ por hora, día, semana, mes, año, etc. según el caso})$ . (Castejon, 1998)

En la práctica, dada la relación con la generación de energía eléctrica, se utilizan unidades como:  $\text{Wh/m}^2$  y sus múltiplos habituales. (Castejon, 1998)

#### **2.2.1.5. Horas sol pico (H.S.P)**

Las horas de sol pico son las horas se definen como el número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 que sumen la misma irradiación total que la real ese día. Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en  $\text{kWh/m}^2$  es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la figura 11. (Valdiviezo Salas, 2014)



**Figura N° 11:** Concepto de horas sol pico.

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)

## 2.2.2. Células fotovoltaicas

### 2.2.2.1. Célula fotovoltaica

El tipo de célula fotovoltaica -también denominada *célula fotoeléctrica* o *célula solar*- más común es la célula de silicio cristalino. El silicio es un material *semiconductor*. Sus propiedades de conductividad eléctrica están situadas a medio camino entre los materiales conductores y los aislantes.

Los átomos están formados, como sabemos, por un núcleo constituido por protones y neutrones y una serie de electrones situados en órbitas u orbitales a su alrededor.

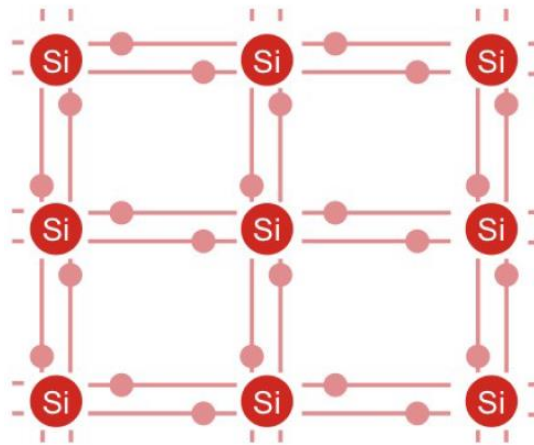
Los átomos de los diferentes elementos que existen en el universo se diferencian únicamente en el número de sus partículas constitutivas. El

número de electrones y la forma como estos se estructuran determina ciertas propiedades básicas del átomo; en particular, la configuración del último orbital -llamado *orbital de valencia*- explica cómo se comportan los átomos y cómo estos se combinan con otros para formar estructuras más o menos complejas.

La configuración más estable del átomo es aquella en la que la capa u orbital de valencia posee *ocho* electrones. Es esta la configuración que caracteriza a los gases nobles (el neón, argón, xenón, entre otros), así llamados porque no se combinan con otros átomos. El resto de los átomos se combinan entre sí, compartiendo o cediéndose electrones, para aproximarse a dicha configuración. (*UNIDAD 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf*)

#### **2.2.2.2. Configuración de los materiales semiconductores**

Los átomos de silicio tienen cuatro electrones en su orbital de valencia, electrones que forman una red cristalina con otros átomos de silicio, tal como muestra la figura. Los átomos comparten cada uno de sus cuatro electrones con los demás átomos que los rodean, formando poderosos enlaces que mantienen unida la estructura. Al compartir dichos electrones con sus cuatro átomos vecinos, el átomo del silicio adquiere su configuración de gas noble (Figura 12).

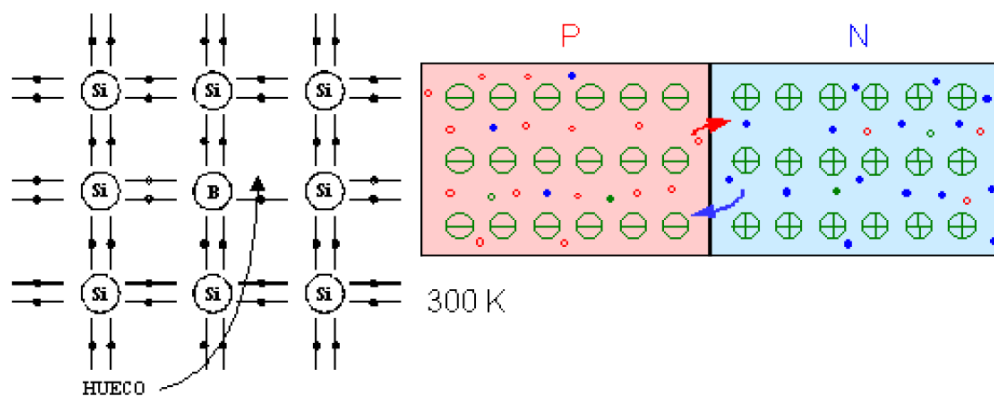


**Figura N° 12:** Configuración de los materiales semiconductores.

**Fuente:** Unidad 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf

La aportación de energía externa a dicha red en cantidad suficiente provoca que algunos electrones se liberen del enlace; el electrón puede entonces moverse libremente por la red cristalina. Macroscópicamente, esa libertad de movimiento de algunos electrones se representa en una variable del semiconductor conocida como **conductividad intrínseca**. El electrón, al liberarse del enlace, deja un hueco en ella, que se comporta como si se tratase de una carga positiva.

La conductividad intrínseca no sirve para generar electricidad. Para hacerlo deben introducirse **impurezas** en la red cristalina. Los átomos de dichas impurezas pueden tener o bien un electrón más (en el caso del fósforo, el antimonio, y el arsénico) o bien un electrón menos (en el caso del boro, el galio y el indio) que el átomo de silicio. La introducción de átomos de impurezas se denomina **dopado** (Figura 13).



INTRODUCCIÓN DE HUECOS MEDIANTE  
IMPUREZAS ACEPTADORAS (GRUPO III)

**Figura N° 13:** Dopado para el átomo de Silicio.

**Fuente:** Unidad 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf

Si se introduce fósforo como impureza, nos encontramos con un dopado de tipo N; si se introduce boro, tenemos un dopado tipo P.

En un semiconductor de tipo N existe exceso de electrones; en uno tipo P, exceso de huecos.

¿Qué ocurre si en un material semiconductor se introducen impurezas de tipo N por un lado e impurezas de tipo P por otro? En la red cristalina se forma, entonces, una unión PN con dos regiones separadas. En esta unión, los electrones extra que hay en la región N se difunden en la región P, dejando en esta, a su vez, un exceso de huecos o cargas positivas. Al formar parte de una red cristalina, los electrones no se pueden mover libremente para recombinarse y se establece un campo eléctrico, una diferencia de potencia entre ambas regiones. Este campo se opone al movimiento de las cargas, de modo que el proceso de



difusión se detiene hasta llegar a un momento de equilibrio electrónico. Tal como se muestra en la figura, la carga positiva de la región *N* impedirá que fluyan a ella más electrones. En ese momento se dicen que la unión está bloqueada.

### 2.2.2.3. Efecto fotoeléctrico<sup>9</sup>

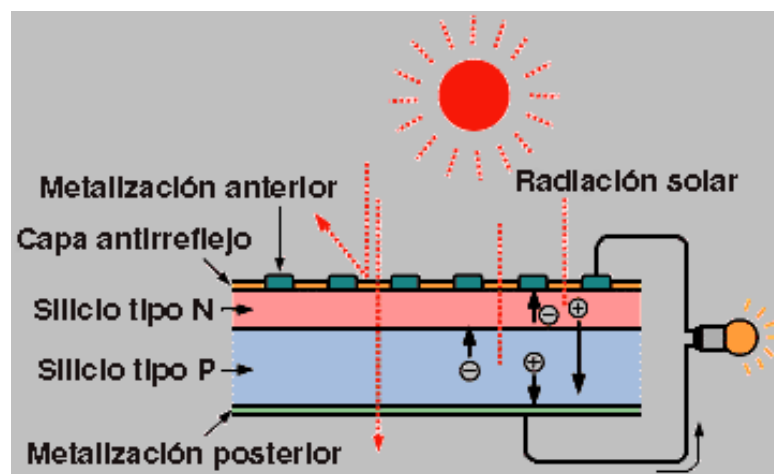
Ocurre al exponer la unión *PN* a la luz del Sol. En este caso, los electrones de la red absorben los *fonones*. La energía que aportan estos fonones rompe enlaces y forma nuevos pares electrón-hueco; el campo eléctrico de la unión hace que los electrones migren hacia la región *N* y los huecos, hacia la región *P*. A este proceso se le denomina **efecto fotoeléctrico**. Si en el borde exterior de la región *N* y de la *P* situamos sendas conexiones eléctricas y las conectamos a través de una resistencia, por dicho circuito fluye una corriente eléctrica. Pero hay una parte de los portadores de carga que no llega a esos terminales, sino que se recombina con su portador opuesto: la recombinación de electrones y huecos no produce energía, sino que se cuenta entre las pérdidas que limitan el rendimiento de la célula fotoeléctrica.

---

<sup>9</sup> UNIDAD2: células y módulos fotovoltaicos.pdf

#### 2.2.2.4. Fabricación de la célula fotoeléctrica

La célula fotovoltaica suele estar formada por dos capas de semiconductores con dopados diferentes. La capa sobre la que incide la luz solar es de tipo N, dopada generalmente con fósforo; la capa inferior es de tipo P, dopada con boro. Para poder extraer la energía generada por la luz solar en la célula es preciso conectarla eléctricamente. En la capa inferior se introduce generalmente una capa conductora de plata o de aluminio. La conexión de la capa superior debe dejar pasar la luz del Sol, con lo que se sitúa una conexión en forma de peine o de rejilla, tal como se aprecia en la figura 14.



**Figura N° 14:** Fabricación de célula fotoeléctrica.

**Fuente:** Unidad 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf

#### **2.2.2.5. Breve historia de la célula solar<sup>10</sup>**

La primera célula solar data del año 1883; fue desarrollada por Charles Fritts, que recubrió una muestra de selenio semiconductor con oro. En 1946 se produce la primera patente de célula fotovoltaica, y en 1954 se descubre en los laboratorios Bell la sensibilidad a la luz de los semiconductores dopados con impurezas.

Desde finales de la década de 1950, la carrera espacial influyó considerablemente en el desarrollo de células solares para alimentar eléctricamente a los satélites artificiales. En 1970 se fabrica la primera célula de arseniuro de galio (GaAs), material que dominó la fabricación de células fotovoltaicas hasta la década de 1980. Posteriormente el uso de células de silicio ha reemplazado casi completamente a las de GaAs. (UNIDAD 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf).

#### **2.2.2.6. Fabricación de la célula fotoeléctrica**

En el mercado y en los laboratorios de investigación coexisten células y módulos solares de muy diversos tipos. Con mucho, las más comunes son las de silicio monocristalino, las de silicio policristalino y los módulos de capa fina. Junto con estos tres tipos, existen otros de carácter más o menos experimental, en ocasiones con rendimientos superiores, pero de presencia en el mercado todavía muy reducida.

---

<sup>10</sup> UNIDAD 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf

- a) Células de silicio monocristalino.
- b) Células de silicio policristalino.
- c) Células de capa fina.
- d) Otras tecnologías.

El uso de arseniuro de galio (GaAs) como material semiconductor.

La tecnología de esferas de silicio – desarrollada por Texas Instruments.

Desarrolladas por el fabricante Sunways, existen células solares traslucidas.

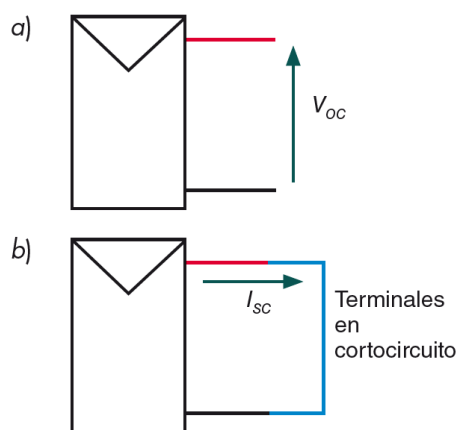
Nanosolar, empresa fundada con capital procedente de Google, ha apostado por fabricar los módulos fotovoltaicos más baratos del mundo, a razón de un dólar por vatio. Emplean la tecnología de cobre-indio-diselenio, que supuestamente alcanza una eficiencia del 19,9 % en el laboratorio, y dicen haber desarrollado una suerte de tinta semiconductor que permitiría fabricar células mediante un proceso de impresión. (UNIDAD 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf).

#### **2.2.2.7. Parámetros fundamentales de una célula solar**

- **Corriente de iluminación ( $I_L$ ):** la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.

- **Corriente de oscuridad:** es debida a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce en el interior del semiconductor.
- **Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ):** la máxima tensión que se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga. Es una característica del material con el que está construida la célula.
- **Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ):** máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados.

Cuando la célula solar es conectada a una carga, los valores de tensión e intensidad varían. Existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima:  $V_m$  (tensión máxima) e  $I_m$  (intensidad máxima), que siempre serán menores que  $V_{oc}$  e  $I_{sc}$ .



**Figura N° 15:** Lugar en el que se mide la tensión en circuito abierto (a) y la corriente de cortocircuito (b).

**Fuente:** Unidad 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf

### 2.2.2.8. Características I-V de la célula solar

La figura 16 representa las características I-V y P-V de una célula fotoeléctrica con irradiancia y temperaturas constantes. Sobre la característica I-V se sitúa el punto de trabajo de la célula, por ejemplo el punto B, donde la corriente aportada por la célula  $I_L$  y la resistencia  $R$  del receptor, fijan el valor de la tensión  $V_L$ , de acuerdo con la Ley de Ohm:

$$V_L = I_L * R \dots (2)$$

$R$ : resistencia del receptor ( $\Omega$ )

$I_L$ : intensidad suministrada por la célula (A)

$U_L$ : tensión en el receptor conectado a la célula (V)

Es importante resaltar que es el valor de la resistencia  $R$  y el valor de la corriente de la célula  $I_L$  los que imponen el punto de trabajo de la célula.

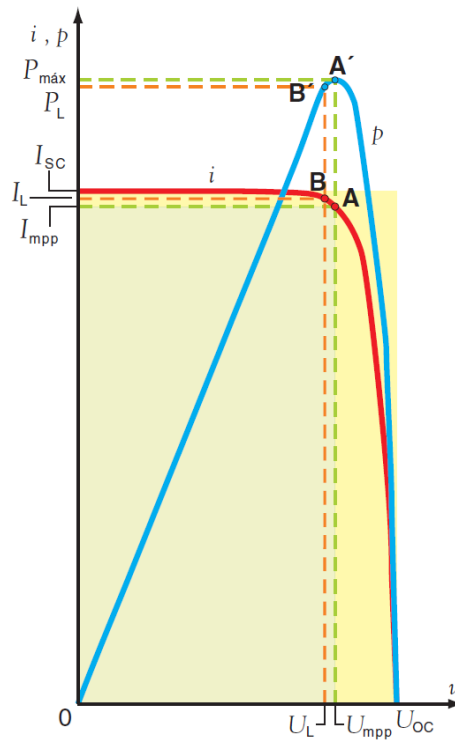
La potencia  $P_L$  entregada por la célula se representa en la característica P-V, por el punto B' y tiene como valor:

$$P_L = V_L * I_L \dots (3)$$

$P_L$ : potencia entregada por la célula (W).

$I_L$ : intensidad suministrada por la célula (A)

$U_L$ : tensión en el receptor conectado a la célula (V)



**Figura N° 16:** Características i-v y p-v de una célula solar.

**Fuente:** (Castejon, 1998)

#### 2.2.2.9. Potencia máxima y eficiencia

- **Potencia máxima:** Punto de la característica I-V en el que la potencia entregada por la célula es máxima. Este punto, representado por A en la figura 16, tiene su correspondiente A' en la característica p-v de la célula. Se cumple:  $P_{m\acute{a}x} = U_{mpp} * I_{mpp} \dots (4)$

$P_{m\acute{a}x}$ : potencia máxima de la célula (W)

$I_{mpp}$ : intensidad máxima de la célula (A)

$U_{mpp}$ : tensión máxima de la célula (V)

Este producto es la potencia máxima que la célula es capaz de suministrar a su receptor, está representado en la figura 16 por el área del rectángulo sombreado con vértice en A y siempre es inferior al área del rectángulo representado por la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y la tensión de circuito abierto  $U_{oc}$ . El cociente entre ambas áreas se denomina **factor de forma (F.F)**:

$$FF = \frac{U_{mpp} * I_{mpp}}{U_{oc} * I_{sc}} = \frac{P_{máx}}{U_{oc} * I_{sc}} \dots (5)$$

El factor de forma FF siempre es inferior a la unidad. Es un indicador de la calidad de la célula que será mejor cuanto más cerca esté FF de la unidad.

- **Eficiencia:** También denominada rendimiento de conversión ( $\eta$ ), indica el porcentaje de energía solar recibida sobre la superficie de la célula que se convierte en energía eléctrica. Se calcula con el cociente entre la potencia eléctrica máxima  $P_{max}$  y el producto del área superficial de la célula,  $A_c$ , por la irradiancia incidente  $G$  en condiciones estándar de medida (CEM):

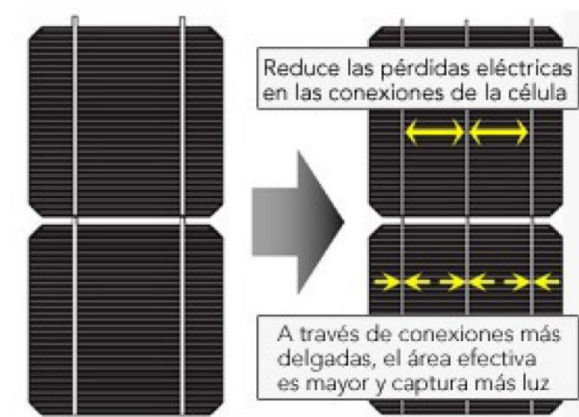
$$\eta = \frac{P_{max}}{GA_c} \times 100 \dots (6)$$



### 2.2.3. Módulos fotovoltaicos

#### 2.2.3.1. Modulo fotovoltaico

Una célula solar típica posee en la actualidad una superficie de 243 centímetros cuadrados y produce aproximadamente una potencia cercana a los 4 vatios y una intensidad de entre 7 y 8 amperios. El escaso valor de la tensión y la potencia hace necesaria la conexión de varias células en *serie*. Para ello, se suelda el conector superior (negativo) de una célula con el conector inferior (positivo) de la siguiente. Entre las células individuales se introduce un pequeño espacio de unos 2 mm, tal como muestra la figura:



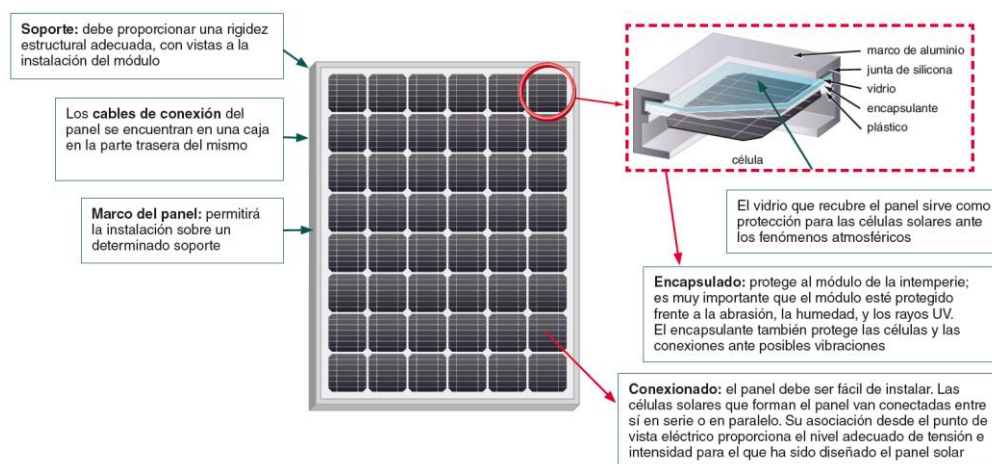
**Figura N° 17:** Espaciamiento entre células fotovoltaicas.

**Fuente:** Unidad 2: células y módulos fotovoltaicos.pdf

Un módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión

(6 V, 12 V, 24 V....), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

En la figura 17, se destacan las principales características de todo modulo fotovoltaico y puede verse un esquema típico de su construcción.



**Figura N° 18:** Construcción de un módulo fotovoltaico.


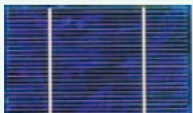
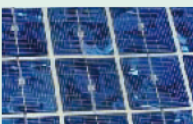
**Fuente:** Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf

Los tipos de modulo fotovoltaicos vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- I. Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- II. Silicio amorfo.

En la Tabla N° 1 podemos observar las diferencias que existen entre ellos.

**Tabla N° 1:** Diferencias entre los paneles según la tecnología del fabricante

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

**Fuente:** Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf

### **2.2.3.2. Curvas características**

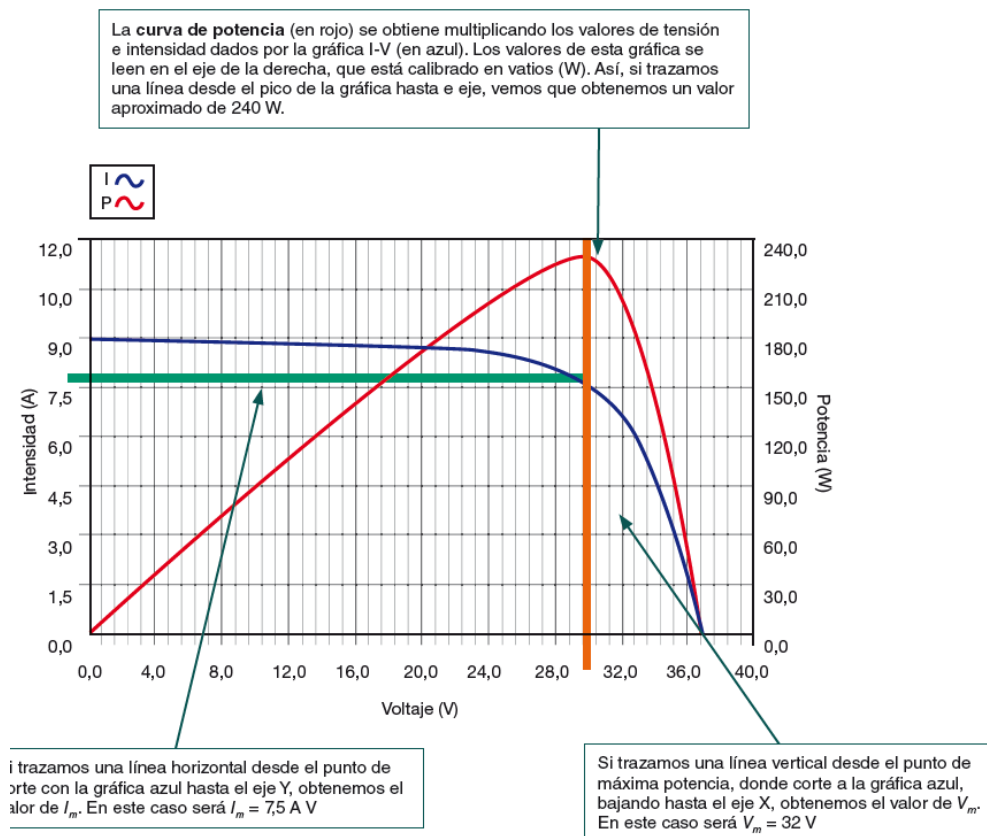
A la hora de trabajar con los paneles solares nos interesa saber qué datos nos proporciona el fabricante, con el fin de utilizarlos correctamente. En los catálogos aparecen todos aquellos parámetros que nos son de utilidad a la hora de realizar el diseño de la instalación.

Entre toda la información que proporciona el fabricante, vamos a ir viendo cuál puede ser de mayor relevancia, desde el punto de vista práctico, a la hora de elegir un panel solar.

No obstante, hay que tener cuidado, ya que los valores proporcionados por el fabricante son obtenidos siempre en unas determinadas condiciones de irradiación solar y temperatura ambiente. En la práctica siempre existirá una pequeña desviación sobre los valores teóricos cuando el panel esté colocado en la instalación.

Obtención de los valores de tensión e intensidad en el panel cuando se está entregando la máxima potencia.

Como un aplicativo tenemos: dada la siguiente gráfica de un panel solar, facilitada por el fabricante, obtén los valores de  $I_m$  y  $V_m$ , tal como se muestra en la figura 19.



**Figura N° 19:** Curva de potencia

**Fuente:** Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf

### 2.2.3.3. Conexión de módulos fotovoltaicos<sup>11</sup>

La intensidad y la tensión de un módulo fotovoltaico no siempre satisfacen los recursos de tensión e intensidad de un sistema. Es necesario agrupar varios módulos para conseguir valores adecuados, teniendo en cuenta que conectando módulos en serie aumenta la tensión del sistema y conectando módulos en paralelo se aumenta la

<sup>11</sup> (Castejon, 1998)

intensidad de del sistema. Se denomina generador fotovoltaico al conjunto de todos los módulos de un sistema.

Siempre que se agrupen módulos se debe cumplir con la condición de que sean iguales. Esta igualdad implica que tengan las mismas características y que además sean del mismo fabricante.

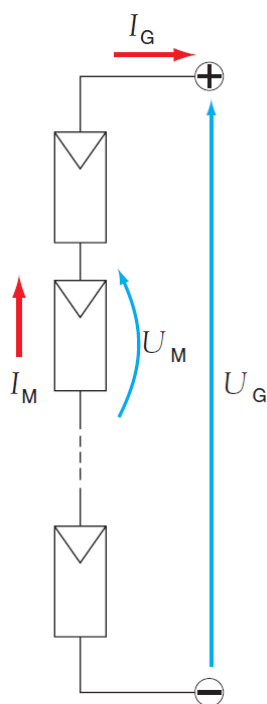
Se pueden realizar tres tipos de conexiones en función de las necesidades:

- **Conexión serie:** para elevar la tensión del generador.
- **Conexión paralela:** para elevar la intensidad de corriente del generador.
- **Conexión serie/paralela:** para elevar la tensión y la intensidad de corriente del generador.

### **Conexión de módulos Serie**

Al conectar los paneles en serie, lo que estamos haciendo es conectar un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de corriente generada (ver figura 20).

La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada módulo fotovoltaico, o lo que es lo mismo al producto de la tensión de un módulo por el número de módulos fotovoltaicos (ya que se supone que tienen las mismas características).



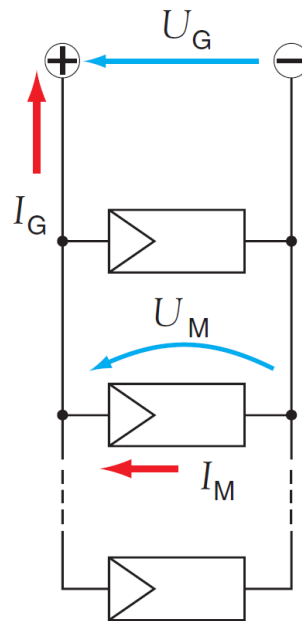
**Figura N° 20:** Conexión en serie de módulos fotovoltaicos

**Fuente:** (Castejon, 1998)

### **Conexión de módulos en paralelo**

Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es conectar todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos. Con ello conseguimos aumentar la corriente generada (sumar la intensidad eléctrica de los paneles) y mantener fijo el voltaje, tal como se muestra en la figura 21.

La corriente generada es igual a la suma de todas las corrientes generadas por cada módulo, o lo que es lo mismo al producto de la corriente generada por un módulo por el número de módulos (ya que se supone que tienen las mismas características).



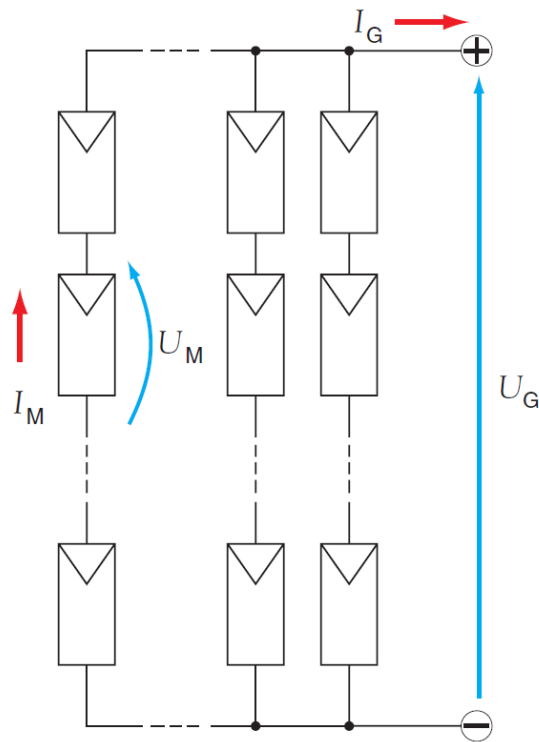
**Figura N° 21:** Conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos

**Fuente:** (Castejon, 1998)

### Conexión de módulos en serie/paralelo

La tensión del generador es la tensión del módulo multiplicado por el número de módulos en serie y la intensidad de corriente es la intensidad de corriente del módulo multiplicado por el número de módulos en paralelo (ver Figura 22).





**Figura N° 22:** Conexión serie/paralelo de módulos fotovoltaicos

**Fuente:** (Castejon, 1998)

#### 2.2.4. Sistemas fotovoltaicos

##### 2.2.4.1. Los sistemas individuales en corriente directa CD para aplicaciones domésticas<sup>12</sup>

Es la aplicación más frecuente y generalizada de la energía solar fotovoltaica. Estos sistemas están compuestos, normalmente, por un panel fotovoltaico con una capacidad menor que 100 Wp, un regulador de carga electrónico a 12 V, una o dos baterías con capacidad total menor que 150 Ah, 2 ó 3 lámparas a 12 V y un tomacorriente para la

<sup>12</sup> (Joaquin Barrios, 2008)

utilización de aparatos eléctricos de bajo consumo energético diseñados especialmente para trabajar a 12 V.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

**El voltaje nominal es 12 V** de corriente directa: Esto implica que solamente se puede usar lámparas y aparatos que trabajen a 12 V. Es importante mencionar que, aunque existe una gran variedad de lámparas y electrodomésticos que trabajan a 12 V, en América Central puede ser difícil adquirir este tipo de aparatos en el comercio local, particularmente las lámparas. Normalmente, es necesario contactar a distribuidores de equipos fotovoltaicos para comprarlas, pero esto representa inconvenientes en tiempos de entrega (pues se deben importar) y de costos más altos (pues son de fabricación especial).

**El costo comparativo** de este tipo de sistema es más accesible para los presupuestos familiares, debido a que se utiliza exclusivamente para satisfacer necesidades básicas de electrificación (luz, radio y TV), los equipos son de baja capacidad; debido a que el sistema trabaja a 12 V, no se necesita usar un inversor. Por estas razones, el costo inicial del sistema es comparativamente menor y muy atractivo para soluciones básicas de electrificación rural fotovoltaica. (Joaquin Barrios, 2008).

#### **2.2.4.2. El sistema individual en corriente alterna CA para aplicaciones domésticas**

Se pueden considerar como una ampliación de los equipos y capacidades de un sistema individual CD. La diferencia fundamental que existe entre ambos sistemas es que éste dispone de un inversor electrónico para transformar la tensión de 12 V de corriente directa a 110 V ó 220 V de corriente alterna. En cuanto al resto de componentes, ambos sistemas son idénticos.

Los aparatos o cargas que con mayor frecuencia se utilizan con sistemas de CA son lámparas fluorescentes de alta eficiencia y bajo consumo, equipos de audio (radios, radiograbadoras y equipos de alta fidelidad), teléfonos celulares, equipos de vídeo (televisores y videograbadoras), computadoras y bombas de agua.

Los sistemas fotovoltaicos CA tienen mayor capacidad de producción de energía (paneles fotovoltaicos de mayor capacidad) y mayor capacidad de almacenamiento (batería de mayor capacidad) que los sistemas fotovoltaicos CD.

La experiencia dice que para necesidades de electrificación mínimas por ejemplo dos lámparas, un radio y un televisor (blanco y negro B/N), un sistema fotovoltaico CD es la solución económica y técnicamente más adecuada y accesible; sin embargo, si las necesidades de electrificación comprenden el uso de más de dos lámparas, radio-caseteras de mediana potencia, televisores a color, bombas de agua u

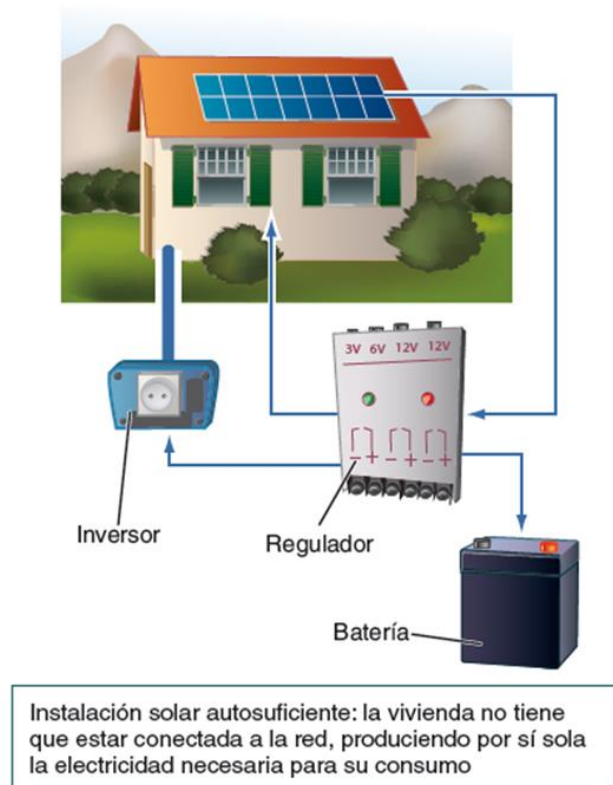
otro tipo de electrodoméstico, entonces, es mejor instalar un sistema fotovoltaico CA.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

El sistema puede proveer energía tanto a 110 ó 220 V de corriente alterna como a 12 V de corriente directa. La consecuencia más importante de esto es que se pueden utilizar lámparas y electrodomésticos a 110 V ó 220 V, los cuales son más comunes, más baratos y más fáciles de adquirir que los aparatos a 12 V; se puede utilizar directa y simultáneamente aparatos que naturalmente ya funcionan a 12 V, por ejemplo, radios para automóviles, televisores B/N portátiles, etc. Esta flexibilidad en el uso de aparatos CA y CD es una de las cualidades más importantes de los sistemas individuales CA.

El costo del sistema es relativamente más alto, es lógico que al agregar un componente más (el inversor) al sistema básico CD, los costos iniciales se incrementan. Sin embargo, es importante considerar que el costo de las lámparas y de todos los equipos que funcionan a 110 V es considerablemente menor que el de las lámparas y los equipos que funcionan a 12 V (figura 23).

Por otra parte, actualmente es más fácil adquirir o reemplazar equipos de 110 V en el comercio local que reemplazar equipo de 12 V. Por lo tanto, si bien existe un incremento de costos por el uso del inversor, también existe un ahorro de tiempo y dinero. (Joaquín Barrios, 2008).



**Figura N° 23:** Sistema fotovoltaico aislado

**Fuente:** Unidad 2: (Díaz Corcobado, 2008)

#### 2.2.4.3. Los sistemas fotovoltaicos centralizados aislados<sup>13</sup>

Son una opción válida para la electrificación rural cuando no existe la posibilidad técnica o económica de llevar la red eléctrica convencional hasta cada una de las viviendas y cuando las familias demandan cantidades moderadas de energía.

Si las viviendas por electrificar se encuentran ubicadas en forma dispersa, los sistemas fotovoltaicos individuales son la mejor

<sup>13</sup> . (Joaquín Barrios, 2008)

alternativa, sino la única, debido a su autonomía y modularidad. Sin embargo, si las casas por electrificar se encuentran ubicadas relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema fotovoltaico centralizado debido a que la concentración de equipos y energía ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico. (Joaquin Barrios, 2008).

Un sistema centralizado es un sistema fotovoltaico capaz de satisfacer la demanda energética de una comunidad con electricidad que se produce, almacena y transforma en un sistema fotovoltaico central y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas.

Los sistemas centralizados tienen la misma estructura que un sistema fotovoltaico individual. La diferencia fundamental radica en que los sistemas centralizados son capaces de proveer energía en cantidades y en calidades muy superiores que la energía producida por un sistema fotovoltaico individual.

Sin embargo, las características fundamentales de los sistemas centralizados son la concentración de equipos y la distribución de electricidad; no siendo así la cantidad de energía que estos sistemas producen.

Las cargas que se utilizan son lámparas fluorescentes de alta eficiencia, equipos de audio (radios, equipos de sonido de alta fidelidad), equipos de video (televisores de color, salas comunales de

cine), equipos de computación, equipos de bombeo de agua potable, congeladores para fábricas de hielo, lámparas para iluminación pública.

En resumen, las aplicaciones aisladas de los sistemas fotovoltaicos están constituidas por:

Electrificación rural de viviendas y pequeños núcleos de población aislados, siendo unas de las primeras implantaciones, ya que el costo de llevar la red, a veces por kilómetros, para suministrar muy poca potencia es muy elevada en comparación al costo de un pequeño o mediano sistema fotovoltaico. Las necesidades básicas a cubrir son: la iluminación, el pequeño bombeo de agua, el uso de pequeños electrodomésticos (batidora, televisor, etc.), el suministro a lavadora, refrigerador y otros aparatos (países desarrollados); en cambio en países en desarrollo estas necesidades son de menor consumo. Las viviendas con usos típicos de fin de semana, bien para el ocio o para el laboreo agro-ganadero en lugares rurales más o menos remotos. (Joaquin Barrios, 2008).

El número de módulos instalados es muy variado y oscila desde pequeñas y medianas instalaciones hasta grandes instalaciones de cientos de módulos para suministro a núcleos pequeños de población.

Electrificación de locales para servicios a la comunidad en países poco electrificados, en escuelas, centros de atención médica y hospitalaria, edificios religiosos y otras edificaciones de uso público. Puede permitir la iluminación, la conservación de alimentos y medicamentos, el uso de

aparatos eléctricos médicos o educativos, la aplicación de sistemas informáticos, etc.

Suministro eléctrico de alojamientos ganaderos e iluminación de naves agrícolas en lugares aislados, iluminación pública, sistemas de bombeo de agua en lugares remotos, estaciones de tratamiento y depuración de aguas de consumo o residuales, para el funcionamiento de controles de calidad, bombeo de trasiego de agua o lodos, accionamiento de válvulas automáticas, sistemas de telemetría y de control a distancia, balizamiento y señalización, faros, señalización aérea, marítima, etc.; telecomunicaciones, telefonía de autopistas.

Como ejemplo tenemos la central Fotovoltaica en Benejama, en la localidad alicantina de España, tamaño comparable a 70 campos de fútbol y capacidad para producir energía equivalente al consumo medio anual de 12 000 hogares, tal como se muestra en la figura 24.



**Figura N° 24:** Central Fotovoltaica en Beneixama (20 MW)

**Fuente:** Innovacion & Energética Solar 2007



#### **2.2.4.4. Las aplicaciones conectadas a la red eléctrica**

Tienen como objetivo principal maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red. Estos sistemas se están utilizando sobre tejados en viviendas e industrias (integración en edificios), y para plantas de generación de energía (centrales fotovoltaicas). También existe otro tipo de aplicaciones en las cuales los módulos fotovoltaicos son utilizados como elementos constructivos en diversos entornos urbanos, tales como barreras antisonido en autopistas y vías de tren, cubiertas de piscinas y aparcamientos, etc.

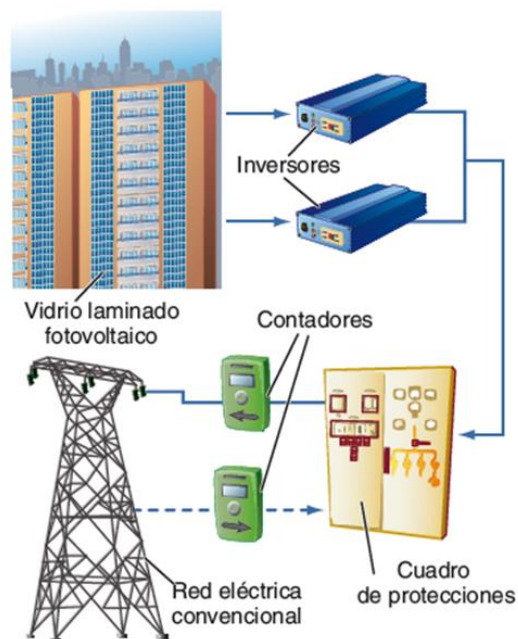
La potencia nominal de las instalaciones en viviendas o edificios en general está relacionada con la superficie útil disponible para la instalación del generador fotovoltaico, aproximadamente de 8 a 10 m<sup>2</sup> por kWp en función del rendimiento del generador fotovoltaico. La potencia típica de la mayor parte de las instalaciones se sitúa en torno a los 5 kWp en viviendas y hasta 100 kWp en otras instalaciones (edificios e integración urbana). La conexión a red de este tipo de instalaciones se puede realizar directamente a la red de baja tensión, en modo monofásico hasta 5 kW y en trifásico para el resto.

Otro tipo de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red son las centrales fotovoltaicas de generación eléctrica, con potencias nominales superiores a los 100 kWp, suelen disponer de una conexión a la red eléctrica en media o alta tensión, disponiendo de un centro de transformación en el que se eleva la tensión de salida de los inversores

fotovoltaicos adecuándola a la tensión de la línea eléctrica. Además de generar energía eléctrica, también pueden laminar los picos de demanda de consumo eléctrico que normalmente ocurren simultáneamente con los picos de generación fotovoltaicos, al mediodía.

Pueden ser utilizadas para mejorar la calidad de la red en redes locales muy alejadas de los puntos de generación o incluso para el control voluntario de generación de energía reactiva.

Un sistema fotovoltaico conectado a red e integrado en viviendas puede inyectar el excedente de energía no consumida en la vivienda y utilizar a la red en lugar del sistema de baterías para abastecerse cuando no hay radiación solar suficiente. (Figura 25)



**Figura N° 25:** Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica

**Fuente:** Unidad 2: (Díaz Corcobado, 2008)

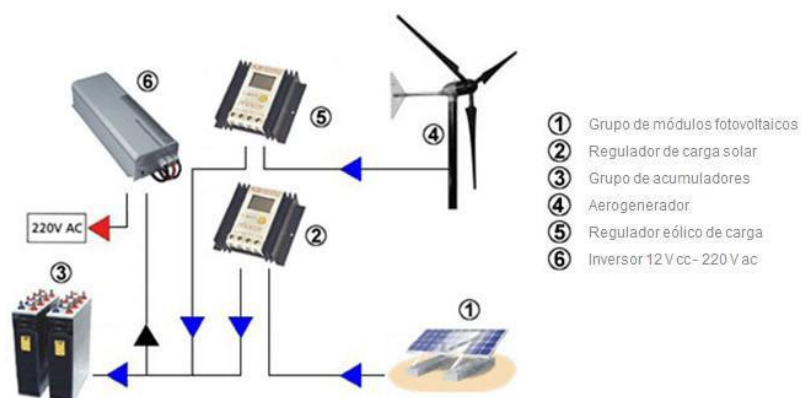
Este método de operación tiene la ventaja de que cuando se consume de la red, las tarifas eléctricas son más bajas (Figura 25).

Los usuarios de sistemas conectados a la red eléctrica no sólo reducen la cantidad de electricidad que compran a la compañía eléctrica, sino que contribuyen a la disminución de la contaminación mediante la utilización de energías renovables no contaminantes.

#### 2.2.4.5. Sistemas híbridos

En algunos casos el sistema fotovoltaico aislado se puede complementar con otro a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad. (Figuras 26 y 27).

Cuando un sistema fotovoltaico además del generador **incorpora otro generador de energía** se denomina sistema híbrido, y en general se utiliza la energía eólica o los grupos electrógenos. (Apuntes de instalaciones solares fotovoltaicas.pdf)



**Figura N° 26:** Sistema híbrido

**Fuente:** Unidad 2: (Díaz Corcobado, 2008)



**Figura N° 27:** Aplicación del sistema híbrido

**Fuente:** Apuntes de instalaciones solares fotovoltaicas.pdf

Estas combinaciones se dan para aprovechar algún recurso energético localizado cerca de la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía. La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable, depende del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria.

## **2.2.5. Centrales soles**

### **2.2.5.1. Tipos de centrales solares**

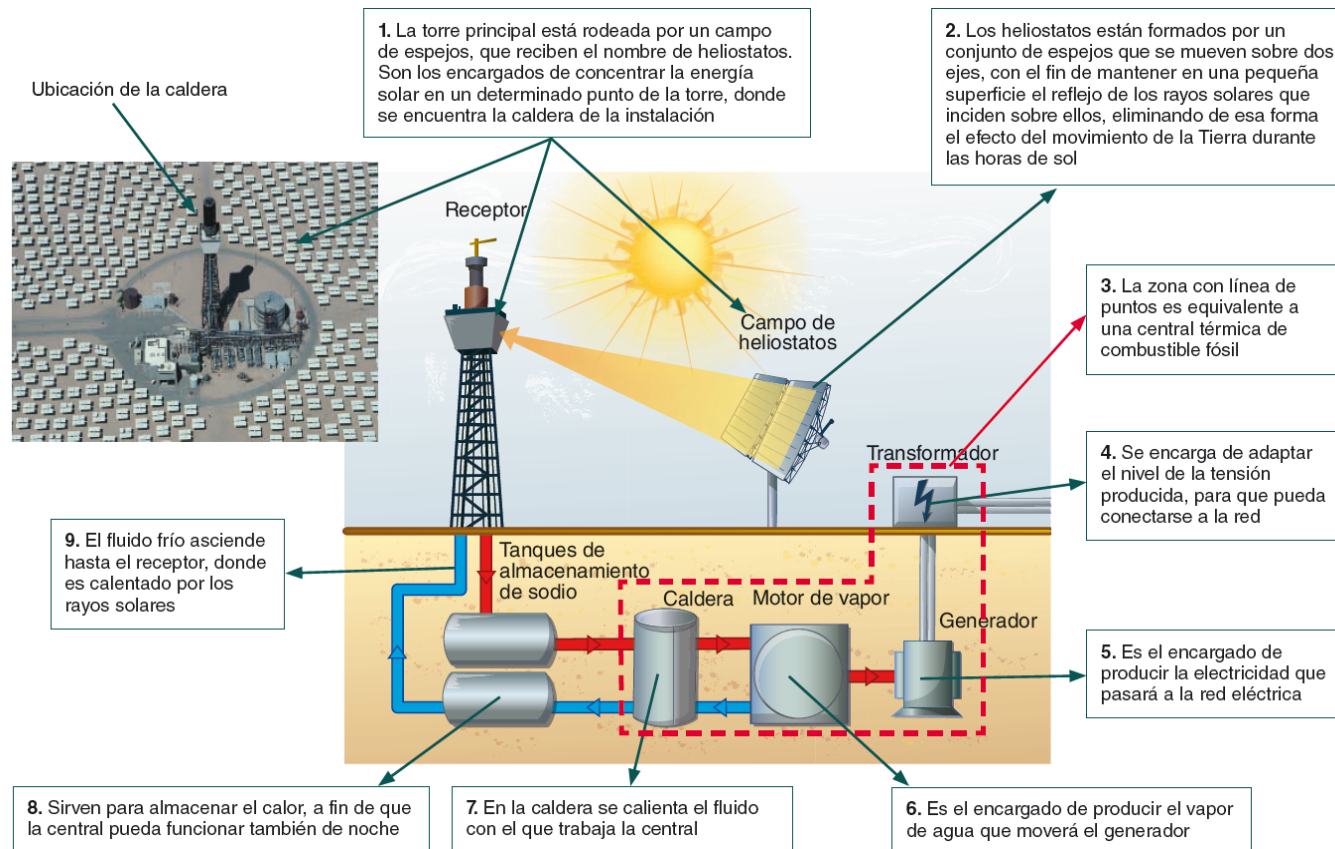
- **Central Termosolar:**

El sol se aprovecha para calentar un fluido (que puede ser agua, sodio, sales fundidas, etc) y convertirlo en vapor, con el fin de producir electricidad mediante el movimiento de un alternador. La

producción de la electricidad se realiza mediante un *ciclo termodinámico* convencional, como se haría en una central térmica de combustible fósil (Figura 28). (Díaz Corcobado, 2008).

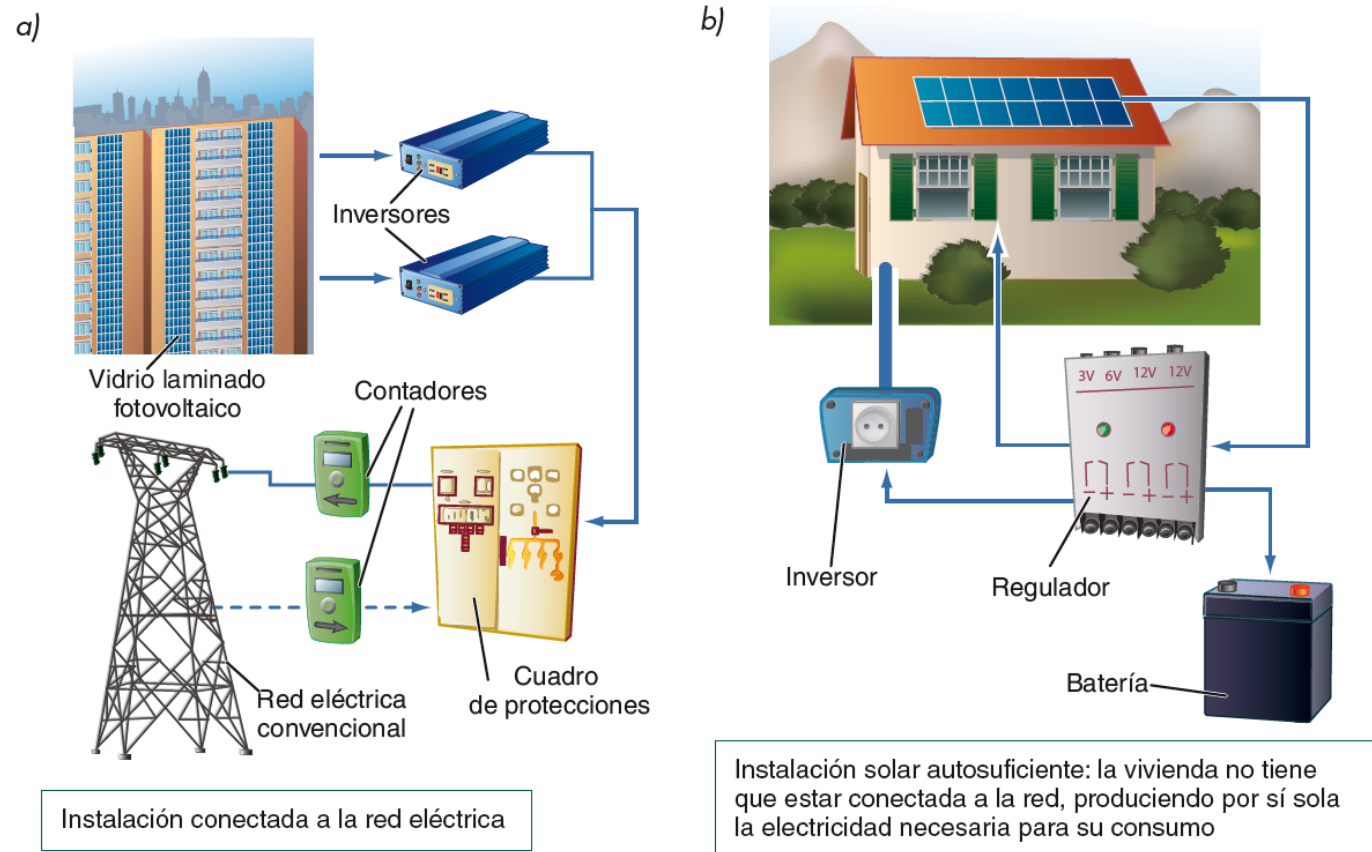
- **Central Solar Fotovoltaica**

La luz del sol es convertida directamente a electricidad mediante el uso de las células solares. Se distingue entre *sistemas conectados a red* y *sistemas aislados* (Figura 29). (Díaz Corcobado, 2008).



**Figura N° 28:** Esquema de la constitución de una C.T. Solar de torre central. Una vez que el fluido pasa por el motor de vapor, se enfría y es elevado (línea azul) hasta el receptor, donde es calentado y enviado hacia abajo (línea roja), para completar el ciclo.

**Fuente:** (Díaz Corcobado, 2008)



**Figura N° 29:** Sistema fotovoltaico conectado a red (a) e instalación fotovoltaica autónoma (b)

**Fuente:** (Díaz Corcobado, 2008)

### **2.2.5.2. Central solar fotovoltaica**

Las centrales fotovoltaicas son instalaciones donde se transforma directamente la radiación solar en energía eléctrica.

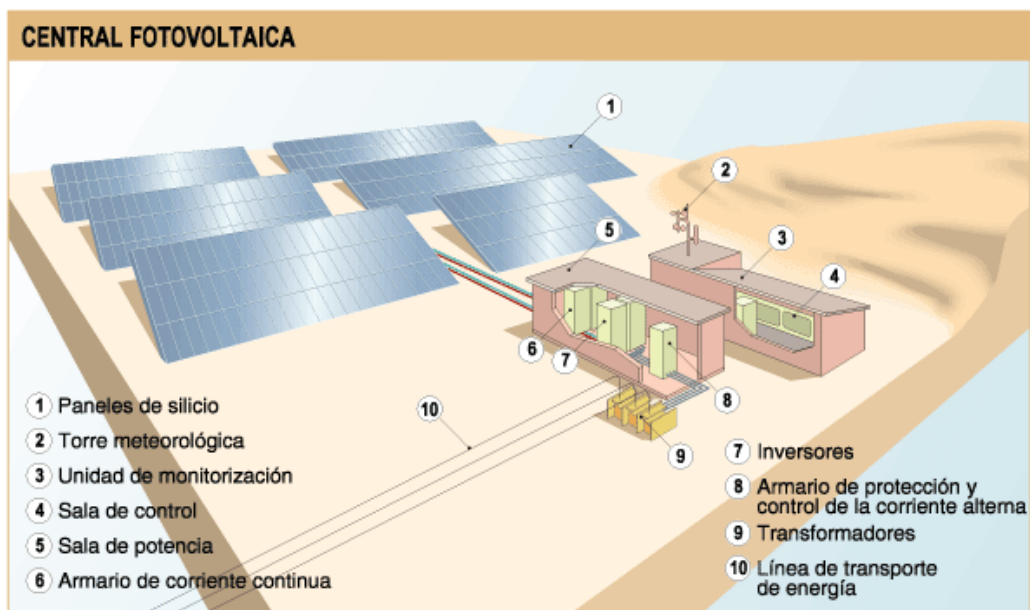
En las centrales fotovoltaicas se consigue producir energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico que consiste en que determinados materiales (conjunto de células fotovoltaicas) al incidir sobre ellos una corriente de fotones (radiación solar) genera una corriente de electrones; es decir el conjunto de células fotovoltaicas captan la energía solar transformándola en una corriente eléctrica continua.

Actualmente las células fotovoltaicas se construyen con el segundo material más abundante en la superficie terrestre que es el silicio (el cual es extraído de la sílice que se encuentra en la arena), el cual tiene que ser de una calidad muy alta para que sea apto.

A demás las células fotovoltaicas están integradas en módulos que, al unirse, formaran placas fotovoltaicas o llamadas también paneles solares.

La corriente continua generada se envía, en primer lugar, a un armario de corriente continua donde se producirá la transformación con la ayuda de un inversor de corriente, y finalmente se lleva a un centro de transformación donde se adapta la corriente a las condiciones de intensidad y tensión de las líneas de transporte de la red eléctrica (Figura 30).





**Figura N° 30: Central Solar Fotovoltaica**

**Fuente: UNESA**

## **2.2.6. Componentes de un sistema fotovoltaico**

### **2.2.6.1. Regulador o unidad de control de carga**

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobre descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería (Figura 31).



**Figura N° 31:** Conexiones del regulador de una instalación fotovoltaica

**Fuente:** <http://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>

Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas.

El motivo de que esta tensión nominal de los paneles sea así se debe fundamentalmente a dos razones:

1. Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
2. Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión  $V_{OC}$  del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería. El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de

irradiación en invierno. Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que ello conlleva.

Los fabricantes nos proporcionarán los valores de trabajo del regulador sobre una hoja de características. En estas hojas aparecerán:

- I. Características físicas del regulador: peso, dimensiones, material empleado en su construcción, etc.
- II. Características eléctricas.
- III. Normas de seguridad que cumple.

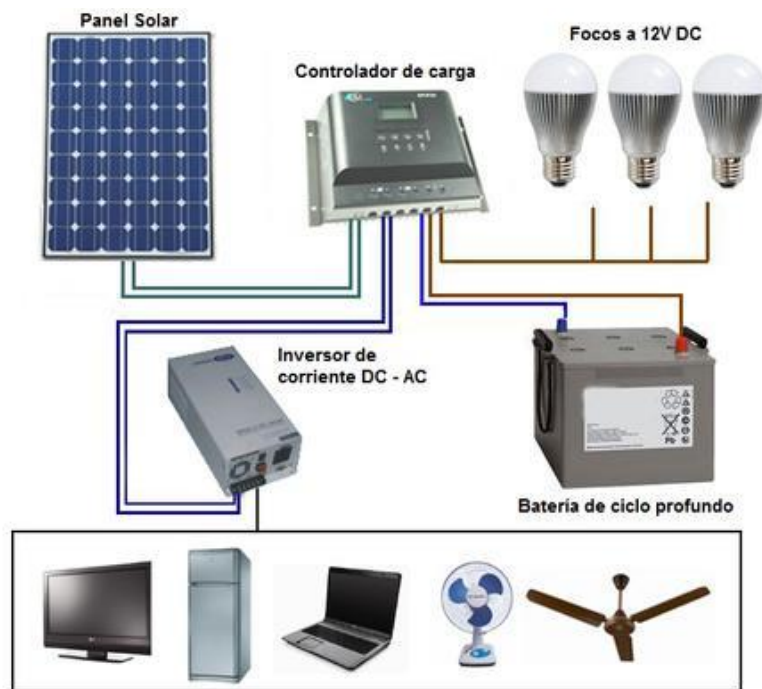
El regulador debe proteger tanto la instalación como a las personas que lo manejen, por lo que deberá llevar sistemas que proporcionen las medidas de seguridad adecuadas para cada uno de los casos. Los fabricantes nos proporcionan también este tipo de información.

#### **2.2.6.2. Convertidor inversor**

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica: 220 V de valor eficaz y una frecuencia de 60 Hz.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas.

Un esquema de este tipo de instalaciones es el representado en la figura 32.



**Figura N° 32:** Esquema general de una instalación autónoma con inversor

**Fuente:** <http://www.leddragon.com.mx/sistemas-isla.html>

Las características deseables para un inversor DC/AC las podemos resumir de la siguiente manera:

- I. Alta eficiencia: debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- II. Bajo consumo en vacío, es decir, cuando no hay cargas conectadas.

- III. Alta fiabilidad: resistencia a los picos de arranque.
- IV. Protección contra cortocircuitos.
- V. Seguridad.

#### **2.2.6.3. Batería de acumuladores**

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos. Algunas de estas variaciones son predecibles, como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras muchas causas que pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, como puede ocurrir con un aumento de la nubosidad en un determinado instante.

Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utilizarán las *baterías o acumuladores*.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica.

#### **Misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:**

- I. Almacenar energía durante un determinado número de días.
- II. Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- III. Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

**Uno de los parámetros más importantes** que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la **capacidad**. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando:

$$C = I \times T \dots (7)$$

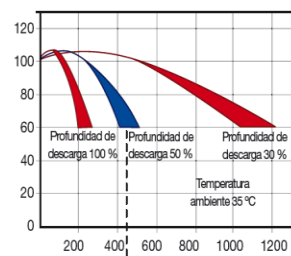
Además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en los acumuladores que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

- **Eficiencia de carga:** relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.
- **Auto descarga:** proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.
- **Profundidad de descarga:** cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los

ciclos de descargas son cortos (en torno al 20 %, por ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si se les somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80 %) tal como muestra la figura 33.

#### Interpretación de la curva de profundidad de descarga de una batería

Para las baterías que queremos colocar en una instalación solar hemos obtenido del catálogo del fabricante la siguiente gráfica:



Si queremos que la batería funcione con una profundidad de descarga de aproximadamente el 50 %, ¿cuál sería el número de ciclos máximos (de carga y descarga) que podríamos obtener con esta batería? ¿Cuál sería el valor de la capacidad de la misma en ese momento?

#### Solución

Fijándonos en la gráfica, para una profundidad de descarga del 50 %, podemos tener aproximadamente 450 ciclos de carga y descarga de la batería.

El valor de la capacidad disminuirá hasta el 60 % del que nos da el fabricante como valor nominal para la batería.

**Figura N° 33:** Curva profundidad de descarga de una batería

**Fuente:** Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf





El fabricante de las baterías suele proporcionar datos sobre el número de ciclos máximo (carga y descarga de la batería) durante la vida útil de la misma. Este valor está relacionado con la profundidad de descarga de la batería.

Teniendo presente el concepto de *profundidad de descarga de una batería*, a las descargas muy acusadas se les llama descargas profundas, y a las ligeras, descargas superficiales.

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la figura 34 podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas.

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos encontrar diferentes modelos. Vamos a compararlos y analizar cuál es el más adecuado.

La siguiente tabla nos muestra diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan en la práctica (dependiendo de la aplicación de la instalación), con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclado profundo.</li> <li>• Tiempos de vida largos.</li> <li>• Reserva de sedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado.</li> <li>• Disponibilidad escasa en determinados lugares.</li> </ul>	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio.</li> <li>• Disponibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes.</li> <li>• Tiempo de vida corto.</li> <li>• Escasa reserva de electrolito.</li> </ul>	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación similar a SLI.</li> <li>• Amplia reserva de electrolito.</li> <li>• Buen funcionamiento en ciclados medios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de vida medios.</li> <li>• No recomendada para ciclados profundos y prolongados.</li> </ul>	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V.I.</li> </ul>	

**Figura N° 34:** Tipos de baterías utilizadas en instalaciones solares.

**Fuente:** Componentes de una instalación solar fotovoltaica.pdf

En aquellas instalaciones en las que vamos a tener *descargas profundas*, elegiremos baterías tubulares estacionarias, así como en las instalaciones en las que necesitemos una capacidad elevada. Es el caso que se da en las instalaciones autónomas de viviendas.



Si la instalación solar es de pequeña dimensión, o de muy difícil mantenimiento, deberemos elegir baterías de gel, vigilando que no se produzcan ciclos de descargas profundos. Un ejemplo puede ser una instalación solar que alimenta un pequeño repetidor en lo alto de un monte.

A la hora de elegir los acumuladores, es importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre los mismos. La capacidad aumenta a medida que sube la temperatura, y al revés, disminuye cuando baja la temperatura del lugar donde se encuentra ubicado. Si prevemos la posibilidad de que existan temperaturas por debajo de 0 °C en el lugar de la instalación, deberemos elegir un acumulador de capacidad mayor que la calculada en el dimensionado de la instalación, con el fin de que no haya problemas en su funcionamiento.

**Ubicación:** Las Baterías deben ubicarse en un lugar cerrado, protegido de la intemperie, evitando la exposición directa al sol. Cuando se utiliza el tipo Electrolitos líquido (no sellados), el local o sala de Baterías debe disponer de una ventilación adecuada (natural o forzada); debido a los gases emanados que tengan lugar durante el proceso de carga, además de otras consideraciones referentes a la seguridad (ausencia de elementos que puedan producir llamas o chispas, etc.).

En las electrificaciones FV autónomas con acumulación, la capacidad de almacenamiento necesario puede ser elevada y por lo tanto, requerir un número de baterías elevado; de esta manera, se plantea la necesidad de construcción de una caseta destinada exclusivamente a su instalación.

Tanto los fabricantes de baterías como las grandes empresas instaladoras, suelen disponer de bancadas (de madera o metálicas, simples o en gradillas) y contenedores especialmente diseñados para el tipo y modelo de Batería utilizada.

Entre las recomendaciones para su instalación se encuentran:

- a) Asegurar la horizontalidad de la bancada.
- b) Colocar inicialmente algunas Baterías en el centro para evitar situaciones de inestabilidad; y en el caso de estanterías, fijarlas y comenzar el montaje por las filas inferiores.
- c) Revisar que la ubicación de las Baterías corresponda con las especificadas en el plano de diseño, prestando especial atención a su separación y a la disposición relativa de sus bornes.
- d) Durante el manejo de las Baterías, utilizar los medios mecánicos adecuados a su peso (más de 100 Kg por elemento) evitando la sujeción de los bornes.

#### **2.2.6.4. Elementos de protección**

Además de los sistemas de protección inherentes a la unidad de control, se puede contar con sistemas de protección externos, los cuales pueden ser desconectadores térmicos (fusibles o relés), protección contra altas tensiones tanto para corriente alterna como para corriente continua y diodos.

Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80 % de la capacidad nominal del fusible ( $I_{nom}$ ).

#### **2.2.6.5. Estructuras de soporte**

El tipo de estructura depende de las condiciones climatológicas, la aplicación y los requerimientos específicos de cada proyecto. Para nuestro caso, analizaremos si se debe utilizar seguidores solares o un sistema fijo.

##### **a) Sistema Fijo**

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica. (Figura 35)

El sistema fijo tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación. (Valdiviezo Salas, 2014).



**Figura N° 35:** Estructura fija

**Fuente:** <http://www.solarinnova.net/es/productos/fotovoltaica/soportes/suelo/monoposte/>

#### **b) Seguidor solar**

Especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos. Además, se necesitan realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad: (figuras 36 y figura 37). (Valdiviezo Salas, 2014)

- a) Seguidores de un solo eje: Horizontal, vertical, polar.
- b) Seguidores doble eje



**Figura N° 36:** Instalación de un seguidor solar

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)



**Figura N° 37:** Detalle de los componentes de un seguidor solar

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)

#### 2.2.6.6. Tendencias actuales<sup>14</sup>

Las aplicaciones para los sistemas fotovoltaicos son muy diversas, no solo variando el tipo de tecnología de células fotovoltaicas, sino variando los elementos que acompañan al sistema fotovoltaico.

Las aplicaciones más actuales de sistemas fotovoltaicos en las ciudades, se muestran en las siguientes imágenes, últimamente los diseñadores se han esforzado mucho en la estética y la versatilidad para colocar los paneles fotovoltaicos. (Valdiviezo Salas, 2014).



**Figura N° 38:** Paneles fotovoltaicos como ventanas, ciudad de Philadelphia

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)

---

<sup>14</sup> (Valdiviezo Salas, 2014)

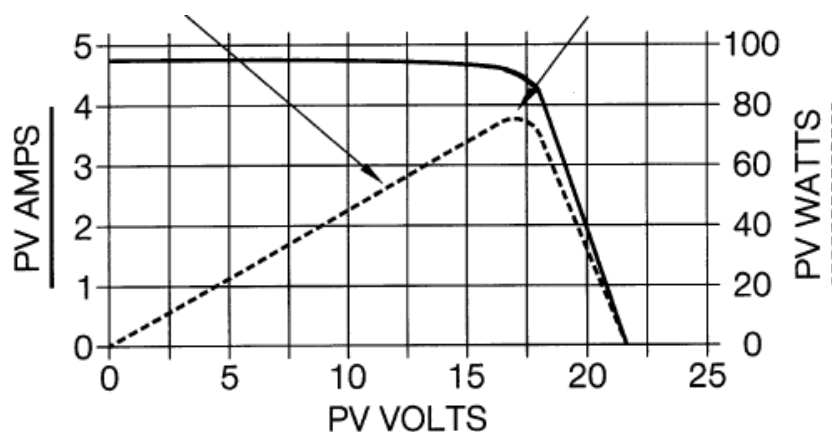


**Figura N° 39:** Aplicaciones de células de película delgada

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)

### MTTP (Maximum Tracking Power Point)

El seguidor de potencia pico máxima (MTTP) es un aparato electrónico, puede estar incluido en el controlador, que regula la resistencia, de tal manera que el voltaje de operación del panel varíe y este ofrezca el máximo valor posible. (Valdiviezo Salas, 2014).



**Figura N° 40:** Variación de la potencia en función de la tensión de trabajo

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)



### **Concentrador Solar<sup>15</sup>**

Actualmente, mediante lentes y vidrios con curvas, se puede focalizar la radiación en pequeñas áreas y así aumentando la potencia que los paneles pueden producir.

A esta tecnología se le conoce como CPV (Concentrated photovoltaic), lo negativo es que la radiación difusa no puede ser concentrada, y se requiere de un sistema más potente de ventilación para mantener los equipos a una temperatura recomendada.

Se prefiere utilizar sistemas no concentradores, ya que son más simples y económicos (figura 41).

Aunque en unos años es probable que esta tecnología sea más utilizada.



**Figura N° 41:** Concentrador solar instalado por Solar System en Australia

**Fuente:** (Valdiviezo Salas, 2014)

---

<sup>15</sup> (Valdiviezo Salas, 2014)



#### **2.2.6.7. Puestas a tierra<sup>16</sup>**

Es uno de los aspectos más importantes de la Instalación Fotovoltaica, que ha establecerse durante la fase de diseño.

Consiste en la unión eléctrica de las distintas masas metálicas, y de éstas con tierra. Ofrecen protección contra tormentas, evitando que la tensión entre las masas metálicas (y entre esta tierra), posibiliten la acumulación de cargas electroestáticas de origen atmosférico.

La puesta a tierra del campo FV, abarca tanto al marco metálico de los módulos como a la estructura. Su anclaje no puede considerarse una protección eficaz, ya que el tratamiento superficial de los elementos dificulta una conexión confiable, por tal motivo los módulos suelen disponer de un orificio para la ubicación del conductor de tierra.

El Conductor de tierra de los módulos debe unir eléctricamente a todos los marcos entre sí, y a estos con la estructura; el conductor a usar debe ser desnudo adicionando un electrodo de tierra (generalmente tipo pica), es recomendable que estas conexiones se efectúen mediante terminales que permita su desconexión, sin interrumpir el tendido de tierra.

---

<sup>16</sup> (Valdiviezo Salas, 2014)

Cuando la distancia entre el campo FV y el resto de la instalación no es considerable, la puesta a tierra de protección del campo FV puede servir a todo el sistema.

#### **2.2.7. Marco legal**

Normas, reglamentos, resoluciones y artículos de electrificación **(MINEM, 2011)**

Desde los primeros proyectos de energía solar desarrollados a inicios de los años 80, la energía renovable ha evolucionado positivamente y hoy en día existe legislación y normativa, que permite la inversión privada y apoya los esfuerzos que están haciendo profesionales, empresas, universidades y ONGS por desarrollar este mercado.

A continuación, se enumeran todas las leyes, reglamentos y normas existentes:

#### **Energías renovables interconectadas a la red (grandes sistemas).**

**a) Ley N° 1002.** Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

**b) D.S. N° 050-2008-MEN.** Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.

#### **Energías renovables para electrificación rural (pequeños y medianos sistemas)**

**a) Ley N°28749.** Ley General de Electrificación Rural.

**b) D.S. N° 011-2009-EM.** Modificación del D.S. N° 025-2007-EM, Reglamento de la Ley N° 28749.

**c) Norma Técnica Peruana NTP 399.403-2006.** Sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones técnicas y métodos para la calificación energética de un sistema fotovoltaico.

**d) Guía de instalación de sistemas fotovoltaicos doméstico (SFVD).**

**e) Norma Técnica de edificación EM 080, Instalaciones con energía solar.**

### **1. N.T.E. EM. 080 Instalaciones con energía solar (Norma técnica de edificación EM 080 instalaciones con energía solar)**

La presente norma de aplicación obligatoria a nivel nacional describe las especificaciones técnicas y los procedimientos constructivos básicos que deben cumplir las viviendas que incluyan sistemas solares fotovoltaicos y fototérmicos (para el calentamiento del agua).

### **2. Resolución ministerial R.M. N° 037-2006-MEN/DM (Código nacional de electricidad – utilización: sección 350)**

Nos hace referencia a los sistemas solares fotovoltaicos.

### **3. Norma Técnica Peruana NTP 399.403 2007: Sistemas fotovoltaicos hasta 2000Wp. Reglamento técnico**

Especificaciones técnicas y procedimientos de evaluación de sistemas fotovoltaicos y sus componentes para electrificación rural. El presente proyecto de reglamento técnico establece las especificaciones técnicas y los procedimientos de evaluación que debe cumplir el sistema fotovoltaico y sus componentes.

#### **4. Resolución Directoral N° 003-2007-EM/DGE: Reglamento técnico especificaciones técnicas y procedimientos de evaluación del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural**

Que, en el Artículo 1º de la Ley 28546, Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables no Convencionales en Zonas Rurales Aisladas y de Frontera del País, publicada el 16 de junio de 2005, establece que dicha Ley tiene por objeto promover el uso de las energías renovables no convencionales para fines de electrificación, con el fin de contribuir al desarrollo integral de las zonas rurales, aisladas y de frontera del país, así como mejorar la calidad de vida de la población rural y proteger el medio ambiente.

El proyecto deberá cumplir con las exigencias técnicas de los dispositivos vigentes relacionados con el ámbito de la distribución, siendo los relevantes los siguientes:

##### **Para Sistema de Distribución**

1. Decreto Ley N° 25844 – «Ley de Concesiones Eléctricas» y su Reglamento
2. Norma Técnica de Calidad «Decreto Supremo N° –97–EM de los Servicios Eléctricos» y sus modificaciones.
3. Código Nacional Electricidad Suministro.
4. Normas DGE «Terminología en Electricidad» y «Símbolos Gráficos en Electricidad.
5. Normas Técnicas de las instalaciones del Concesionario.
6. Ley de Protección del Medio Ambiente y protección del patrimonio Cultural de la Nación según corresponda.
7. Sistema legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

8. Normas Técnicas DGE de Alumbrado de Vías Públicas.
9. Normas Técnicas Eléctricas.

### **Ley de Concesiones Eléctricas N° 25844 y D.S. N° 009-93, Reglamento de Ley de Concesiones Eléctricas.**

Esta ley es la que contiene las disposiciones que norman todo lo referente a las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la Energía Eléctrica.

Artículos N° 31°, 85°, 88°, 97°, 99° y 109° de la Ley de Concesiones Eléctricas Decreto Ley N° 25844 Artículos N° 188°, 189°, 239° y 290° de su Reglamento D.S. N° 009 –93 –EM.

### **Código Nacional de Electricidad**

#### **1. R.M. N° 336 – 20011 – EM / VME (p. 29/Abril/2011) Código Nacional de Electricidad de suministro.**

Este código trata básicamente aspectos de seguridad, no es un manual de diseño, ni de especificaciones técnicas. Da reglas –producto de la experiencia –para la instalación, operación y mantenimiento, se considera el empleo de materiales y productos certificados. Recurre al criterio y experiencia profesional, sustentado mediante estudios de ingeniería.

Este código se complementa con el Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional, y demás normas DGE.

### **Impacto Ambiental**

#### **Consecuencias ambientales de la utilización de la energía solar**

Las consecuencias que la utilización de energía solar proporciona al ambiente no pueden ser otra cosa más que un beneficio para el mismo

ambiente, primeramente, debido a la disminución de las emisiones de gases contaminantes como el dióxido de carbono, dióxidos de azufre u óxidos de nitrógeno, ya que estos elementos toxicas lo generan otros sistemas de generación como son centrales térmicas y los sistemas tradicionales que utilizan las comunidades ya sea como los mecheros etc. Que son las que verdaderamente contaminan, consecuentemente el beneficio de la utilización de este sistema solar es para el agua, suelo, la flora y fauna respectiva se ven beneficiados y todo esto ayudando finalmente a nuestro planeta mismo.

## **Normas y Leyes Ambientales**

### **Norma ISO 14001**

Es una norma aceptada internacionalmente que establece cómo implantar un sistema de gestión medio ambiental eficaz. La norma se ha concebido para gestionar el delicado equilibrio entre el mantenimiento de la rentabilidad y la reducción del impacto medioambiental.

### **Ley N°28611 – Ley General del medio ambiente en el Perú**

Mediante esta ley se reglamentan aspectos relacionados a la materia ambiental en el Perú. Asimismo; por un lado, plantea a los ciudadanos una serie de derechos con relación al tema ambiental, en tanto que se debe garantizar un ambiente saludable, equilibrado y apropiado para el desarrollo de la vida; y por otro lado, deberes, en la medida en que todos estamos obligados a contribuir a una efectiva gestión ambiental y a proteger el ambiente.

### 2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Definiciones obtenidas de (Ixtebe Portabelle, 2010).

- **Celda Solar:** El más pequeño elemento semiconductor de un módulo fotovoltaico (PV) para realizar la conversión inmediata de luz solar en electricidad.
- **Energía Solar:** Son las ondas de energía electromagnéticas transmitidas por el sol.
- **Efecto Fotovoltaico (PV):** Se refiere a la conversión directa de luz solar en electricidad, se le conoce como solar eléctrico y solar fotovoltaico.
- **Fuentes de Energía Renovable:** Es un recurso energético que es regenerativo o virtualmente inexhaustible, algunos ejemplos son; solar, viento, geotermal y agua.
- **Horas de Sol por Día:** Es el equivalente de número de horas por día equivalente a la irradiación solar de 1000 vatios por metro cuadrado.
- **Ángulo de Inclinación:** Es el ángulo al cual el arreglo solar se inclina en relativo a la posición horizontal en dirección al sol. Este ángulo puede ajustarse para maximizar la energía disponible durante el año.
- **Arreglo Solar:** Un sistema interconectado de módulos fotovoltaicos que funcionan como una unidad independiente de producción de electricidad. Los módulos o paneles solares se instalan en estructuras con monturas y apoyos comunes.

- **Batería:** Dos o más celdas electroquímicas en un contenedor y conectados eléctricamente en un arreglo en serie/paralelo para proveer el voltaje de operación y corriente requerido.
- **Batería de Ácido-Plomo:** Es una categoría general que incluye baterías con placas de plomo, plomo-antimonio, plomo-calcio inmersos en un electrolito de ácido.
- **Batería de Almacenamiento:** Es un dispositivo capaz de transformar energía química a eléctrica y viceversa. La reacción es reversible, durante descarga la energía química se transforma en energía eléctrica para alimentar el inversor
- **Batería Libre de Mantenimiento o Sellada:** Es una batería sellada que no se la añade agua para mantener los niveles de electrolitos, ejemplo de ellas son de gelatina y absorbed glass mat (AGM). Es una batería con el electrolito inmovilizado y con válvulas de presión.
- **Batería Tipo Gel:** Batería de Plomo-Acido en la cual el electrolito se compone de gelatina de silica.
- **Capacidad de Energía de Baterías:** La energía total disponible, expresada en vatios-hora o kilovatios-hora, que puede ser extraída de una batería totalmente cargada. La capacidad de energía depende de temperatura, la edad de la batería y el voltaje al cual se descarga la batería.
- **Cargador de Baterías:** Es un componente del sistema fotovoltaico que controla el flujo de corriente hacia las baterías para proteger de sobrecarga.
- **Celda de Batería:** La unidad más simple operacional en una batería de almacenamiento. Consiste de uno o más electrodos o placas, electrolito



que permite conducción iónica, separadores entre las placas con polaridad contraria, y un contenedor para los anteriores.

- **Inversor:** Es un equipo electrónico que convierte la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC) para un sistema conectado a la red eléctrica o para un sistema independiente de energía.

- **Kilovatio:** Es una medida de potencia eléctrica equivalente a 1000 Vatios o el consumo de energía de mil joules por segundo.

- **Kilovatios hora:** Es una medida de energía que equivale a 1 000 vatios consumidos en un periodo de una hora. Normalmente las utilidades nos cobran en base a kilovatios hora consumidos en un mes.

- **Módulo:** Es una estructura construida con celdas solares en serie para lograr un voltaje operacional.

- **Panel Solar:** También se le conoce como módulo fotovoltaico, mejor definido como un sistema de módulos conectados físicamente en una misma estructura desde la fábrica.

- **Red de Electricidad:** Un sistema integrado de distribución de electricidad, usualmente cubriendo millas de servicio.

- **Seguidor Solar:** Se refiere a un arreglo solar en una estructura diseñada para seguir la posición del sol y maximizar la radiación solar incidente en la superficie de las placas solares. Los hay de un solo eje que busca al sol de este a oeste y de dos ejes que ajusta el ángulo respecto al horizonte para maximizar la irradiación en todo el año.

- **Radiación solar:** Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

- **Irradiancia:** Densidad de potencia incidente en una superficie o a energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en  $\text{kW/m}^2$ .
- **Irradiación:** La luz directa, difusa y reflejada que recibe una superficie, usualmente expresada en kilovatios por metro cuadrado, la irradiación multiplicada por tiempo equivale a insolación.
- **Instalación fotovoltaica:** Aquella en la que se disponen de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica sin ningún paso intermedio.
- **Instalaciones fotovoltaicas interconectadas:** Aquellas que normalmente trabajan en paralelo con la empresa concesionaria de energía eléctrica.
- **Generador fotovoltaico:** Asociación en paralelo de ramas series fotovoltaicas.
- **Inversor:** Convertidor de tensión y corriente continua en tensión y corriente alterna.
- **Célula solar o fotovoltaica:** Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.
- **Modulo o panel fotovoltaico:** Conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.
- **Caja de conexión:** Caja a donde se llevan los cables para realizar las conexiones.
- **Carga:** Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que ésta opera.

- **Condiciones de prueba estándar:** Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio ( $1 \text{ kWh/m}^2$  de radiación solar,  $25^\circ\text{C}$  de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5).
- **Conexión a la red:** Sistema de generación conectado a la red pública de electricidad.
- **Conexión en Serie:** Es una forma de conectar paneles solares al conectar el positivo de una placa con el negativo de otra y así aumenta el voltaje del sistema. Quedan libres el negativo de la primera placa y el positivo de la última para las conexiones posteriores en el sistema.
- **Conexión Paralela:** Es la conexión de paneles solares que conecta los terminales positivos entre sí y los terminales negativos entre sí. El resultado es el mismo voltaje más cada conexión aumenta proporcionalmente la corriente.
- **Conductor eléctrico:** Todo material capaz de conducir la corriente eléctrica. Para transportar la energía eléctrica se utilizan “hilos” fabricados generalmente de cobre o aluminio
- **Consumo eléctrico:** Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (kWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.
- **Contador eléctrico:** Instrumento que mide la energía consumida. Puede ser propiedad del cliente o de la empresa suministradora. Mide los consumos en kWh.
- **Corriente de corto circuito:** Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.

- **Corriente de máxima potencia:** Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.
- **Cortocircuito:** Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.
- **Curva I-V:** Característica Intensidad vs. Voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.
- **Diodo de bloqueo:** Dispositivo conectado en serie entre el módulo y la batería para prevenir el flujo de electricidad de la batería hacia los módulos.
- **Diodo de bypass:** Dispositivo conectado en paralelo a los módulos para desviar el flujo a través suyo cuando sobre el módulo hay sombras o falla alguna celda.
- **Instalación eléctrica:** Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.
- **Interruptor:** Aparato utilizado para conectar o desconectar parte de una instalación.
- **Masa de aire:** Medida de la distancia que atraviesa la luz en la atmósfera en su trayectoria hacia la superficie terrestre.
- **Módulo solar fotovoltaico:** Conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.
- **NOCT** (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a  $800 \text{ W/m}^2$  de radiación en un ambiente con aire a  $20^\circ\text{C}$  de temperatura y circulando a una velocidad de  $1 \text{ m/s}$ , cuando la celda está en circuito abierto.

- **Regulador de carga:** También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobredescargas.
- **Tensión eléctrica:** Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V)
- **Voltaje de circuito abierto:** Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.
- **Voltaje de máxima potencia:** Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.
- **Watt pico:** Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C y 1,5 de masa de aire).

## CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

En el diseño de la minicentral solar fotovoltaica para el Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, el tipo de investigación es **aplicada** que según José Lozada<sup>17</sup> nos dice que: “La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo”.

El diseño de investigación **es no experimental**: Porque solo se pretende describir las características de los equipos seleccionados y las variables en estudio tal y como se presentan en la realidad.

### 3.2. Población y Muestra

Durante el proceso de investigación se identificó la muestra, la cual fue igual a la población, el Centro Poblado: “Guarrago” ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.

### 3.3. Hipótesis

Con el diseño de la minicentral solar fotovoltaica se logrará suministrar de energía eléctrica al Centro poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.

---

<sup>17</sup> <http://www.uti.edu.ec/antiguo/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>

### 3.1. Variables – Operacionalización

**Tabla N° 2:** Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>  <b>Dimensionamiento de una minicentral solar fotovoltaica aislada</b>	<p>Consiste en la integración de varios componentes, cada uno de ellos cumpliendo con una o más funciones específicas, a fin de que éste pueda suplir la demanda de energía eléctrica impuesta por el tipo de carga, usando como combustible la energía solar</p>	<p>Dimensionar los equipos de la minicentral fotovoltaica y la red de distribución en baja tensión</p>	<p>Dimensionar : paneles fotovoltaicos, controladores, inversores, banco de baterías, equipos de protección</p>
			<p>Dimensionar el conductor eléctrico para la red de distribución en baja tensión 220 V, seleccionar altura de postes.</p>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>  <b>Suministro de energía eléctrica</b>	<p>Abastecer de energía eléctrica al usuario final</p>	<p>Distribuir al usuario final la energía eléctrica utilizando conductores eléctricos.</p>	<p>Calculo de la energía promedio diaria en el Centro Poblado: “Guarrago”.</p>

**Fuente:** Del Autor.

### **3.2. Métodos y Técnicas de investigación**

En el presente trabajo de investigación utilizamos el método deductivo a partir de las teorías, leyes y normas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas las aplicamos para calcular, seleccionar los equipos. Las técnicas principales empleadas fueron las siguientes:

#### **a) Observación directa**

Se realizó a partir de las visitas técnicas a la localidad, obteniendo el dato del número de habitantes. Se utilizaron como instrumentos fichas de observación y lista de chequeo.

#### **b) La Entrevista**

Este formato se utilizó en los pobladores con la finalidad de conocer los equipos electrodomésticos con los que cuentan en sus hogares y además de ello conocer su realidad problemática.

#### **c) El Fichaje**

Este instrumento de medición se utilizó para registrar los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas, los cuales, debidamente elaborados y ordenados contienen la mayor parte de la información que se recopiló en nuestra investigación, permitiéndonos ahorrar tiempo, espacio y dinero.



### 3.3. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación; son distintos para cada una de las variables como las etapas del trabajo efectuado. Las mencionamos a continuación:

- **Hoja de cálculo en Excel:** Para procesar la información recopilada. Con la finalidad de efectuar los cálculos correspondientes haremos uso del software Office 2016 - Microsoft Excel 2016.

- **Software Autodesk AutoCAD 2016:** Para procesar la información recopilada del GPS, para la elaboración del plano de ubicación de las viviendas y cargas especiales del centro poblado, así como el plano de la minicentral y red de distribución eléctrica en 220 V.

- **Encuesta:** Fue facilitado por el Alcalde Delegado del Centro Poblado: “Guarrago”: Sr. Rómulo Rojas Sánchez. Por medio de conversaciones con los habitantes de la comunidad, haciendo uso de un cuestionario de preguntas preparadas, se ha aprovechado para conocer las cargas conectadas, el número de horas de utilización y el incremento de carga para efectuar la implementación de la minicentral solar fotovoltaica.

- **Fotografías:** Se utilizaron para constatar los equipos electrodomésticos en las viviendas y evidenciar nuestra presencia durante la realización de este proyecto de investigación en el Centro Poblado: “Guarrago”.

### **3.4. Análisis Estadístico e interpretación de los datos**

#### **Medidas de tendencia central**

##### **Media (Promedio):**

Es la medida estadística de tendencia central más significativa y que nos permitió determinar el valor medio de la radiación solar proveniente de las tres fuentes

#### **Medida de dispersión**

Es el tratamiento estadístico a los datos pertenecientes a un conjunto, para determinar el grado de variabilidad, dispersión y homogeneidad que significa que, si un conjunto de datos que presenta poco grado de dispersión implica que dichos datos son muy uniformes, mientras que, si el conjunto de datos tiene alto índice de dispersión, esto significa que dichos datos son poco uniformes

##### **Rango:**

Mide la amplitud de los valores de los datos y se calcula por la diferencia entre el valor más elevado y el valor más bajo, se utilizó para determinar la discrepancia entre datos de diferentes fuentes.

## CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

### 4.1. Propuesta de la investigación

Para el presente trabajo de investigación que tiene como objetivo suministrar de energía eléctrica al Centro Poblado: “Guarrago”, ubicado en el distrito de Socota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.; se propone el diseño de una minicentral solar fotovoltaica.

La propuesta consta de lo siguiente:

#### 4.1.1. Visitas al Centro Poblado: “Guarrago”

Con la finalidad de determinar las cargas, así como también las ubicaciones de las viviendas, local comunal, iglesia y centro educativo.

#### 4.1.2. Equipamiento de la minicentral fotovoltaica

- **Generador Fotovoltaico:** Estará conformado por 66 paneles fotovoltaicos con una potencia de 190 Wp, obteniendo una potencia instalada de 12,54 kWp los cuales se utilizarán para proporcionar la energía necesaria demandada por las cargas requeridas para el Centro Poblado.

- **Regulador de carga:** Estará conformado por 03 controladores, con capacidad de 85A cada regulador, el sistema en corriente directa funcionara a una tensión de trabajo de 48 V.
- **Batería de Acumuladores:** Estará conformado por 24 baterías de 12V/503 Ah cada una, estas funcionarán a una tensión de trabajo de 24 VDC. El sistema de baterías se ha dimensionado considerando 02 días de autonomía.
- **El convertidor o inversor:** Estará conformado por 03 inversores de tipo onda pura cuya potencia es de 3 300 W cada uno, a una tensión de trabajo de 48 VDC, este equipo suministrara la tensión al sistema en 220 VAC.

#### 4.1.3. Sistema de distribución en 220 V

Con la finalidad de hacer llegar la energía eléctrica desde el sistema fotovoltaico es necesario realizar el dimensionamiento de una red de distribución en 220 V.

## CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. Energía eléctrica promedio diaria requerida para el Centro Poblado: “Guarrago”

De las visitas realizadas al Centro Poblado, con la colaboración del señor Alcalde delegado: Sr. Rómulo Rojas Sánchez identificado con DNI: 40758694 se ha determinado que el número de viviendas del Centro Poblado es de 50 y existe una población total de 214 habitantes, además cuenta con 01 local comunal, 01 iglesia y 01 centro educativo.



**Figura N° 42:** Alcalde Delegado C.P: Sr. Rómulo Rojas Sánchez.

**Fuente:** Del Autor

### 5.1.1. Población y vivienda actual - Proyección para el Centro

#### Poblado: “Guarrago”

La vida útil de la instalación fotovoltaica es de 20 años, por consiguiente tenemos que proyectar esa energía.

Con respecto de la tasa de crecimiento se considera la tasa de crecimiento del departamento de Cajamarca.

**Tabla N° 3:** Tasa de crecimiento promedio anual - departamento de Cajamarca

Año	Total	Incremento Intercensal	Incremento Anual	Tasa de Crecimiento Promedio Anual %
1 940	555 197			
1 961	770 165	214 968	10 237	1,6
1 972	940 004	169 839	15 440	1,8
1 981	1 063 474	123 470	13 719	1,4
1 993	1 297 835	234 361	19 530	1,7
2 007	1 455 201	157 366	11 240	0,8

**Fuente:** INEI

De las tasas de crecimiento anteriores (Tabla N° 3) consideramos un valor promedio, determinado por: 1,46 %

$$P_n = P_o \times (1 + i)^n \dots (8)$$

Donde:p

**P<sub>o</sub>:** Población actual

**P<sub>n</sub>:** Población proyectada a “n” años

**i:** Taza de crecimiento poblacional

Conociendo la vida útil de la instalación solar fotovoltaica, proyectaremos la población para ese tiempo (20 años)

Reemplazando los datos obtenemos:

$$P_{20} = 214 * (1 + 0,0146)^{20} \approx 286 \text{ personas}$$

Para el cálculo del número de viviendas se considera la hipótesis de que el número de personas por unidad de viviendas permanece en el tiempo, por lo que el número de viviendas proyectado es de **67**.

### 5.1.2. Consumo de energía necesaria diaria (Wh/día)

#### 5.1.2.1. Consumo de energía eléctrica: Vivienda unifamiliar

**Tabla N° 4:** Consumo de energía eléctrica diaria para vivienda particular.

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
<b>VIVIENDA PARTICULAR</b>						
1	Lámpara	220 V C.A.	8	3	4	96
2	Televisor	220 V C.A.	60	1	4	240
3	Carga de celular	220 V C.A.	5	2	2	20
4	Radio	220 V C.A.	12	1	4	48
-	-	-	-	-	-	-
<b>CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA TOTAL POR VIVIENDA</b>						<b>404</b>

**Fuente:** Del Autor.

### 5.1.2.2. Consumo de energía eléctrica: Local Comunal

**Comunidad:** Centro Poblado: "Guarrago" – Socota – Cutervo – Cajamarca.

**Fundación:** 1964.

**Capacidad:** 100 Personas.

**Tipo de edificio:** Destinado a realización de actividades festivas, recreativas y reuniones de la Comunidad.

**Régimen de funcionamiento:** Bajo ordenanza del Alcalde Delegado.

**Tabla N° 5:** Consumo de energía eléctrica para el Local Comunal

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
LOCAL COMUNAL						
1	Lámpara	220 V C.A.	8	4	3	96
2	Radio	220 V C.A.	12	1	4	48
3	Carga de celular	220 V C.A.	5	2	2	20
CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA TOTAL PARA LOCAL COMUNAL						164

**Fuente:** Del Autor



**Figura N° 43:** Local Comunal C.P: "Guarrago"

**Fuente:** Del Autor



### 5.1.2.3. Consumo de energía eléctrica en la Iglesia

**Comunidad:** Centro Poblado: “Guarrago” – Socota – Cutervo – Cajamarca.

**Fundación:** 1964.

**Capacidad:** 50 Personas.

**Tipo de edificio:** Destinado al culto religioso público.

**Régimen de funcionamiento:** 24 horas diarias para la comunidad.

**Tabla N° 6:** Consumo de energía eléctrica Iglesia Comunal

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
IGLESIA						
1	Lámpara	220 V C.A.	8	4	2	64
2	Radio	220 V C.A.	12	1	4	48
3	Carga de celular	220 V C.A.	5	5	2	50
CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA TOTAL PARA IGLESIA						162

**Fuente:** Del Autor



**Figura N° 44:** Iglesia Comunal - C.P: "Guarrago"

**Fuente:** Del Autor

#### 5.1.2.4. Consumo de energía eléctrica en la I.E: “10379”

**Nombre:** Institución Educativa: “10379”

**Ubicación:** Centro Poblado: “Guarrago” – Sócata – Cutervo – Cajamarca.

**Fundación:** 1964.

**Tipo de edificio:** Destinado a la enseñanza.

**Director:** Lic. Héctor Antonio Mera Rivera.

**Niveles:** Inicial – Primaria.

**Número de aulas:** 6.

**Número de alumnos:** 36 (Hombres: 18; Mujeres: 38).

**Horario de funcionamiento:** 8: 30 AM – 12: 30 PM (Nivel Inicial);  
7:30 A.M. – 2:00 P.M (Nivel Primaria).

**Tabla N° 7:** Consumo de energía eléctrica para I.E:"10379"

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
INSTITUCIÓN EDUCATIVA: “10379”						
1	Lámpara	220 V C.A.	8	10	1	80
2	Radio	220 V C.A.	12	1	4	48
3	Carga de celular	220 V C.A.	5	5	2	50
CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA TOTAL PARA I.E: “10379”						178

**Fuente:** Del Autor



**Figura N° 45:** I.E:"10379" C.P:"Guarrago"

**Fuente:** Del Autor

### 5.1.2.5. Consumo de energía eléctrica en la I.E: “JoséMaría Escrivá de Balaguer”

**Nombre:** Institución Educativa: “JoséMaría Escrivá de Balaguer”

**Ubicación:** Centro Poblado: “Guarrago” – Sócota – Cutervo – Cajamarca.

**Fundación:** 2011.

**Tipo De Edificio:** Destinado a la enseñanza.

**Director:** Lic. Jorge Herrera Guevara.

**Nivel:** Secundaria.

**Número de Aulas:** 6.

**Número de Alumnos:** 75 (Hombres: 34; Mujeres: 41).

**Horario de Funcionamiento:** 7:30 A.M. – 2:30 P.M.

**Tabla N° 8:** Consumo de energía eléctrica para I.E: "J.M.E.B"

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	POTENCIA (W)	CANTIDAD	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
<b>INSTITUCIÓN EDUCATIVA: “J.M.B”</b>						
1	Lámpara	220 V C.A.	8	8	1	64
2	Radio	220 V C.A.	12	1	4	48
3	Carga de celular	220 V C.A.	5	5	2	50
<b>CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA TOTAL PARA I.E: “J.M.B”</b>						<b>162</b>

**Fuente:** Del Autor.



**Figura N° 46:** I.E: "JoséMaría Escrivá de Balaguer"

**Fuente:** Del Autor

### 5.1.2.6. Consumo total de energía eléctrica diaria sin alumbrado público

**Tabla N° 9:** Consumo de energía eléctrica promedio diario sin alumbrado público

ITEM	RECEPTOR	TENSIÓN (V)	CANTIDAD	ENERGÍA DIARIA (Wh)	TOTAL DE ENERGÍA DIARIA (kWh)
ENERGÍA (kWh/día)					
1	Viviendas	220 V C.A.	67	404	27.068
2	Local Comunal	220 V C.A.	1	164	0.164
3	Iglesia	220 V C.A.	1	162	0.162
4	I.E: "10379"	220 V C.A.	1	178	0.178
5	I.E: "J.M.E.B"	220 V C.A.	1	162	0.162
TOTAL (kWh/día)					27.734

**Fuente:** Del Autor

### 5.1.2.7. Alumbrado de vías públicas

El número de **puntos de iluminación (PI)** se calculó según lo establecido en la norma DGE "Alumbrado de vías públicas en áreas rurales", el mismo que se presenta a continuación.

#### a. Determinación del consumo de energía mensual por alumbrado público (CMAP):

$$CMAP = KALP \times NU \dots (9)$$

Donde:

**CMAP** = Consumo mensual de alumbrado público en kWh.

**KALP** = Factor de AP en kW-h / usuario – mes. Dicho factor es el correspondiente al sector típico 4: KALP=3.3

**NU** = Número de usuarios de la localidad (50)

$$CMAP = 165 \text{ kWh}$$

**b. Cálculo del número de punto de iluminación (PI):**

$$PI = \frac{CMAP \times 1000}{NHMAP \times PPL} \dots (10)$$

Donde:

**PI** = Puntos de iluminación.

**CMAP** = Consumo mensual de alumbrado público en kWh.

**NHMAP** = Número de horas mensuales del servicio alumbrado público (horas/mes).

**PPL** = Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público en watts (60 W).

- La cantidad de Puntos de iluminación (PI) en caso de ser decimal se debe redondear al número inferior.
- El número de horas diarias de alumbrado público considerado debe estar comprendido entre 8 y 12 horas; mayormente 12 horas. (NHMAP = 12 x 30 = 360 h)

Reemplazando los datos en la siguiente formula obtenemos:

$$PI = \frac{165 \times 1000}{360 \times 60} \approx 8$$

En resumen:

**Tabla N° 10:** Potencia de alumbrado público

LOCALIDAD	Centro Poblado: “Guarrago”
Número de viviendas	50
KALP (kWh/usuario-mes)	3.3
CMAP (kWh)	165
PPL (W)	60
PI (Puntos de iluminación)	8
F.S	1
Potencia de alumbrado (kW)	0.48

**Fuente:** Del Autor

La energía de alumbrado público lo obtenemos multiplicando la potencia por 12h de utilización obteniendo:

$$0.48 \text{ kw} \times 12h = 5.76 \text{ kWh}$$

#### **5.1.2.8. Consumo total de energía eléctrica diaria con alumbrado público.**

$$Energía = 27.734 \text{ kWh} + 5.760 \text{ kWh} = 33.494 \text{ kWh}$$

## 5.2. Radiación Solar promedio en el Centro Poblado: “Guarrago”

### 5.2.1. Evaluación de la Radiación Solar

Se obtuvieron las coordenadas de latitud y longitud del Centro Poblado: “Guarrago” haciendo uso del GPS y para el distrito de Sócuta se obtuvo haciendo uso de fuente web. El objetivo de esta recopilación fue obtener mediante el uso de éstas la radiación solar del Centro Poblado y el distrito.

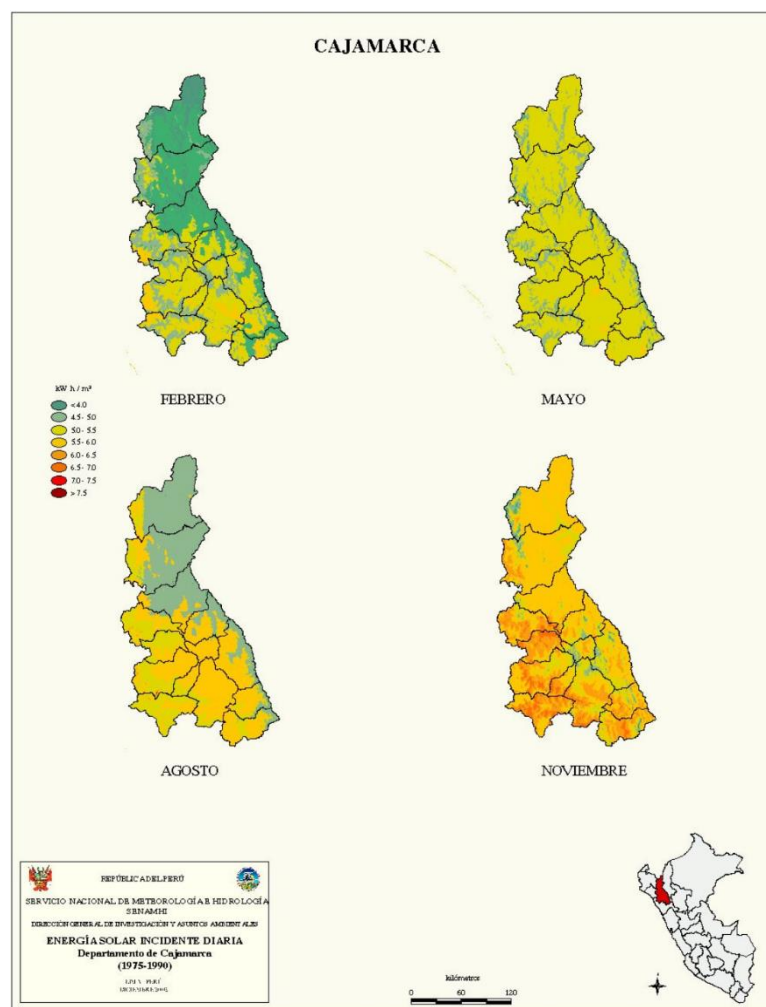
Obtenidos los datos de radiación solar, se procedió a verificar los mismos en la página oficial de la NASA y el Atlas Solar del SENAMHI.

Realizada la comparación, se procedió a utilizar el menor valor de irradiación.

Se utilizó como referencia datos estadísticos de las instituciones anteriormente mencionadas, entidades dedicadas a brindar información sobre el comportamiento de la radiación solar en determinadas localidades y éstas son:

- **Atlas Solar del Perú:** el cual nos brindó el comportamiento mensual de la radiación solar en el Departamento de Cajamarca. (SENAMHI, 2003).

A partir del Atlas solar del SENAMHI obtenemos el valor mínimo oscila entre 4.0 kWh/m<sup>2</sup> día y 5.0 kWh/m<sup>2</sup> día, para el mes de febrero, con un valor promedio de 4.50 kWh/m<sup>2</sup> día.



**Figura N° 47:** Radiación solar en el departamento de Cajamarca <sup>18</sup>

**Fuente:** SENAMHI.

<sup>18</sup> <https://deltavolt.pe/phocadownload/Cajamarca.jpg>



- La ubicación geográfica en términos de latitud y longitud del distrito de Socota, lo podemos consultar en fuente web tal como se muestra en la siguiente figura.

**SOCOTA latitud y longitud**

Humedad y presión Temperatura Amanecer y Atardecer Viento Todas  
Coordenadas GPS Elevación Lugares

SOCOTA Latitud	-6,3141
SOCOTA Longitud	-78,6939
Nombre:	socota, cutervo, cajamarca, peru
Tipo:	Localidad
País:	Perú
Estado:	Cajamarca
Distrito:	Provincia de Cutervo
Localidad:	Socota
Sub-Localidad:	NA
Closest Dirección:	Socota, Perú

**Figura N° 48:** Latitud y Longitud del distrito de Sócota<sup>19</sup>

**Fuente:** www.distanciasentre.com

A partir de los datos de latitud y longitud podemos conocer la información de la radicación solar existente mensualmente en Socota, la cual es una información más exacta y más detallada de la radiación solar, según la página web oficial de la **NASA** (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi> ).

<sup>19</sup> <https://www.distanciasentre.com/pe/socota-latitud-longitud-socota-latitud-socota-%20longitud/LatitudLongitudHistoria/685064.aspx?IsHistory=1&LocationID=685064>

**Tabla N° 11: Radiación solar en el Distrito de Sócata, según la NASA**



NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables



Latitude -6.314 / Longitude -78.694 was chosen.

**Geometry Information**

Elevation: 1697 meters  
taken from the  
NASA GEOS-4  
model elevation

Northern boundary  
-6  
Center  
Latitude -6.5  
Longitude -78.5  
Western boundary -79 Eastern boundary -78  
Southern boundary  
-7

**Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications:**

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m <sup>2</sup> /day)													
Lat -6.314 Lon -78.694	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	4.82	4.61	4.88	4.71	4.93	4.93	5.05	5.46	5.76	5.67	5.86	5.37	5.17

Minimum And Maximum Difference From Monthly Averaged Insolation (%)													
Lat -6.314 Lon -78.694	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Minimum	-17	-14	-13	-10	-11	-17	-14	-12	-13	-14	-15	-13	
Maximum	20	14	18	11	12	11	10	12	11	13	14	23	

Parameter Definition

**Parameters for Tilted Solar Panels:**

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m <sup>2</sup> /day)													
Lat -6.314 Lon -78.694	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	4.82	4.61	4.88	4.71	4.93	4.93	5.05	5.46	5.76	5.67	5.86	5.37	5.17
K	0.45	0.42	0.46	0.47	0.54	0.57	0.57	0.58	0.56	0.53	0.54	0.50	0.52
Diffuse	2.31	2.38	2.32	2.09	1.75	1.57	1.60	1.77	2.03	2.25	2.16	2.22	2.03
Direct	3.66	3.17	3.62	3.84	4.94	5.42	5.48	5.52	5.33	4.84	5.36	4.66	4.66
Tilt 0	4.74	4.54	4.81	4.65	4.88	4.88	5.01	5.40	5.69	5.59	5.77	5.28	5.11
Tilt 6	4.80	4.56	4.81	4.73	5.05	5.11	5.23	5.55	5.73	5.60	5.85	5.37	5.20
Tilt 21	4.80	4.47	4.65	4.76	5.32	5.51	5.59	5.72	5.63	5.45	5.84	5.42	5.27
Tilt 90	2.35	1.96	1.77	2.38	3.24	3.70	3.60	3.06	2.18	2.00	2.62	2.69	2.63
OPT	4.83	4.56	4.82	4.77	5.35	5.62	5.66	5.72	5.73	5.60	5.88	5.43	5.34
OPT ANG	13.0	6.00	2.00	16.0	28.0	34.0	32.0	22.0	8.00	5.00	13.0	16.0	16.3

NOTE: Diffuse radiation, direct normal radiation and tilted surface radiation are not calculated when the clearness index (K) is below 0.3 or above 0.8.

Parameter Definition

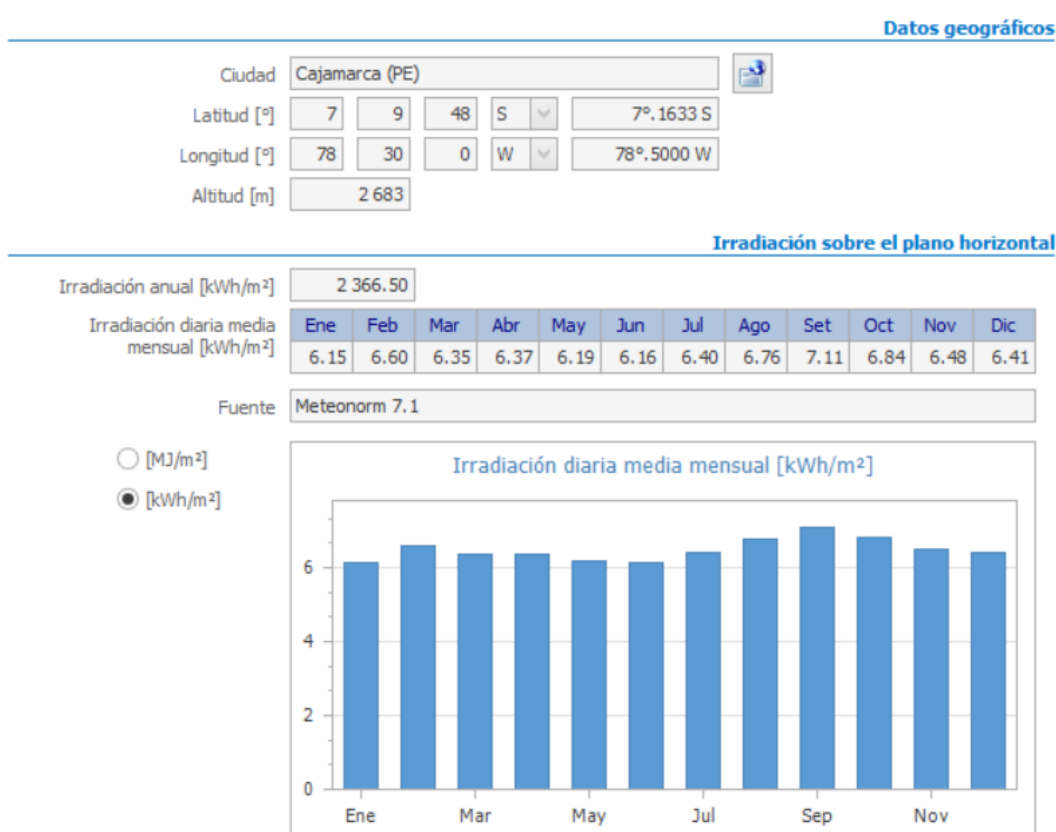
**Fuente:** <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

La irradiación solar más desfavorable se presenta en el mes de febrero con un valor de 4.61 kWh/m<sup>2</sup> día.

## Radiación solar según el software Solarius Plus

Consultando el software SOLARIUS PLUS, obtenemos los datos de radiación solar a nivel de departamento tal como se muestra en la siguiente tabla de donde se obtiene que el valor de la radiación solar más baja es de 6.15 kWh/m<sup>2</sup> día.

**Tabla N° 12:** Radiación solar en el departamento de Cajamarca con el Software SOLARIUS PV.



**Fuente:** Software SOLARIUS PV

En conclusión, la irradiación solar más desfavorable se presenta en el mes de febrero con un valor de **4.50 kWh/m<sup>2</sup> día**, que **es el valor que se considerará para el dimensionamiento**.

### 5.3. Dimensionamiento de la Minicentral Solar

#### 5.3.1. Cálculo del generador fotovoltaico

Para determinar la potencia, hay que considerar las pérdidas ocasionadas en el inversor, regulador, batería de acumuladores, pérdidas de potencia por efecto joule en los conductores, no trabajar en el punto de máxima potencia de los módulos fotovoltaicos, etc. Para facilitar el cálculo de la potencia del generador estas pérdidas se agrupan en un coeficiente que recoge el rendimiento energético de la instalación; para el caso de sistemas con regulador, inversor, batería de acumuladores se considera: 0.6 (Agustin Castejon)

$$E_{elec} = \frac{E}{0.6} \dots (11)$$

$$E_{elec} = \frac{33,494 \text{ kWh}}{0,6} = 55.823 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$Pot = \frac{E_{elec}}{H_s} = 12.40 \text{ kW}$$

##### 5.3.1.1. Elección del tipo y número de módulos fotovoltaicos

El panel solar seleccionado para nuestra minicentral fotovoltaica será de la marca SIMAX de 190 Wp (ANEXO 01)

Los datos técnicos del panel se muestran a continuación:

Parameters	SM572-165	SM572-170	SM572-175	SM572-180	SM572-185	SM572-190	SM572-195
Peak power P <sub>m</sub> (W)	165±3%	170±3%	175±3%	180±3%	185±3%	190±3%	195±3%
Open circuit voltage V <sub>oc</sub> (V)	42.7	43.3	43.3	43.9	43.9	44.5	44.5
Max. power voltage V <sub>mp</sub> (V)	35	35.5	35.5	36.0	36.0	36.5	36.5
Max. power current I <sub>mp</sub> (A)	4.71	4.79	4.93	5.00	5.14	5.21	5.34
Short circuit current I <sub>sc</sub> (A)	5.04	5.08	5.23	5.30	5.45	5.52	5.77
Dimensions(L*W*H)	1580*808*45/35/50						
Weigh(kg)	15.5						
Max. over-current (A)	10						
Max. system voltage (V)	1000V DC						
Application Class	Class A						
Mono crystalline silicon solar cell	125*125*0.19mm						
No. of cells and connections	72 series						
No. of bypass diodes	3						
Bypass diode rating (A)	10						
Bypass diode max. junction temperature(°C)	200						
Bypass diode thermal resistance(°C/W)	3.0						
STC	Irradiance:1000W/m <sup>2</sup> , Cell temperature:25°C, AM:1.5						
Maximum No. of series connection	22						
Maximum No. of parallel connection	2						

**Figura N° 49:** Datos eléctricos del Panel Solar SIMAX

**Fuente:** SIMAX

### 5.3.1.2. Cálculo del número mínimo de módulos necesarios

Con la finalidad de no sobredimensionar el generador se comprobará que con la potencia máxima del módulo elegido no se sobrepase el 10 % de la P<sub>elec</sub> (Agustin Castejon), es decir la potencia nominal del generador fotovoltaico deben cumplir:

$$\frac{E_{elec}}{H_S} \leq P_G \leq 1.10 \times \frac{E_{elec}}{H_S} \dots (12)$$

$$\frac{E_{elec}}{H_S} \leq N_{mf} P_{pico} \leq 1.10 \times \frac{E_{elec}}{H_S}$$

Donde:

$N_{mf}$  = Número mínimo de módulos fotovoltaicos necesarios.

$E_{elec}$  = Consumo de energía eléctrica total media diaria (Wh/día).

$H_S$  = Horas solar pico de la zona.

$P_{pico}$  = Potencia nominal o pico del módulo fotovoltaico (190 wp).

$$\frac{E_{elec}}{H_S} \leq N_{mf} P_{pico} \leq 1.10 * \frac{E_{elec}}{H_S}$$

$$12\,400\,W \leq N_{mf} P_{pico} \leq 1.10 * 12\,400\,W$$

$$12\,400\,W \leq N_{mf} P_{pico} \leq 13\,640\,W$$

$$65.26 \leq N_{mf} \leq 71.79$$

Se considerarán 66 módulos fotovoltaicos, el cual se ira corrigiendo hasta llegar al diseño completo

### 5.3.1.3. Cálculo del número de módulos conectados en serie

$$N_{smf} = \frac{V_T}{V_{mf}} \dots (13)$$

Donde:

$N_{smf}$  = Número de módulos fotovoltaico que deben conectarse en serie.

$V_T$  = Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (V). Los valores más comunes son 12 V, 24 V y 48 V. La tensión de trabajo será de 48 V.

$V_{mf}$  = Tensión nominal de un módulo fotovoltaico (V). Tensión nominal del módulo seleccionado será de 24 V.

$$N_{S_{mf}} = \frac{48}{24}$$

$$N_{S_{mf}} = 2$$

#### 5.3.1.4. Cálculo del número de ramas conectadas en paralelo

$$N_{P_{mf}} = \frac{N_{mf}}{N_{S_{mf}}} \dots (14)$$

Donde:

$N_{P_{mf}}$  = Número de ramas conectadas en paralelo.

$N_{mf}$  = Número de módulos fotovoltaicos.

$N_{S_{mf}}$  = Número de módulos fotovoltaicos conectados en serie.

$$N_{P_{mf}} = \frac{66}{2}$$

$$N_{P_{mf}} = 33$$

### 5.3.1.5. Angulo óptimo de inclinación:

La orientación óptima será un valor constante, con una inclinación ( $\beta$ ) que va a depender de la latitud ( $\varphi$ ) del lugar y un acimut ( $\alpha$ ) que depende del hemisferio en el que está situado el generador.

Si pretendemos maximizar la captación de energía solar, la superficie se debe orientar hacia el Sur si está situada en el hemisferio norte o hacia el Norte si es está en el hemisferio sur.

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se usa una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|) \dots (15)$$

Donde:

$\beta_{opt}$ : Ángulo de inclinación óptimo.

$|\varphi|$ : Latitud del lugar.



La fórmula es válida para aplicaciones de utilización anual que busquen la máxima captación de energía solar a lo largo del año.

Por lo tanto, tomando en cuenta el método de inclinación óptima anual, se ingresan los datos en la fórmula; sabiendo que la latitud es de  $-6,314^{\circ}$ .

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,6 * |-6,314^{\circ}|)$$

$$\beta_{opt} = 8,06^{\circ}$$

Luego el ángulo óptimo es de  $8,06^{\circ}$  y es la inclinación que deben tener los paneles solares para recolectar la mayor cantidad de energía solar durante el día.

Según el reglamento técnico RD 003-2007-EM/DGE. Debe tener un ángulo de inclinación no menor de  $10^{\circ}$ . Para nuestro proyecto consideraremos una elevación de  $15^{\circ}$  para las estructuras de los paneles solares, con el fin de evitar la polución, agua en épocas de lluvias y facilitar su mantenimiento.

### 5.3.2. Dimensionamiento del Regulador

#### 5.3.2.1. Cálculo de la corriente máxima que debe soportar el regulador

$$I_{REG} = 1,25 * I_{CCmf} * N_{Pmf} \dots (16)$$

Donde:

$I_{REG}$  : Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

$I_{CCmf}$  : Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (A).

$N_{Pmf}$  : Número de ramas conectadas en paralelo.

1,25: Es un factor de sobredimensionamiento más comúnmente utilizado; correspondiente al 25 %.

$$I_{REG} = 1,25 * 5,52 * 33$$

$$I_{REG} = 227.7 \text{ A}$$

Trabajaremos con controladores Blue Solar de 85 A cuyas características se muestran a continuación

**Tabla N° 13:** Especificaciones técnicas del controlador Blue Solar 150/85

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 / 48 V (se necesita una herramienta de software para seleccionar 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, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Corriente de cortocircuito máxima FV 2)	50A	50A	50A	70A	70A
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	10mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión				
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				

**Fuente:** ANEXO 02

### 5.3.2.2. Cálculo del número de reguladores

$$N_{P reg} = \frac{I_{REG}}{I_{reg}} \dots (17)$$

Donde:

$N_{P reg}$  = Número de reguladores.

$I_{REG}$  = Corriente máxima que debe soportar el regulador (A).

$I_{reg}$  = Corriente de cada regulador (A).

$$N_{P reg} = \frac{227,70}{85}$$

$$N_{P reg} = 2,68 = 3 \text{ reguladores}$$

### 5.3.2.3. Cálculo del número de ramas de módulos que deben conectarse a cada regulador.

$$\text{Ramas por regulador} = \frac{N_{Pmf}}{N_{Preg}} \dots (18)$$

$$\text{Ramas por regulador} = \frac{33}{3} = 11$$

11 ramas de módulos fotovoltaicos por regulador.

### 5.3.3. Cálculo de la potencia del inversor requerido

Los inversores que se utilizarán para nuestra minicentral fotovoltaica serán los inversores de la marca PVS300-TL-3300W-2 (Tabla 14).

El inversor cuenta con las siguientes características:

**Tabla N° 14:** Especificaciones técnicas del inversor PVS300-TL-3300W-2

Technical data and types					
Type code	PVS300-TL-3300W-2	PVS300-TL-4000W-2	PVS300-TL-4600W-2	PVS300-TL-6000W-2	PVS300-TL-8000W-2
	3.3 kW	4.0 kW	4.6 kW	6.0 kW	8.0 kW
Input (DC)					
Nominal PV-power ( $P_{PV}$ )	3400 W	4100 W	4700 W	6100 W	8100 W
Maximum PV-power ( $P_{PV,max}$ )	3700 W	4500 W	5200 W	6700 W	8900 W
DC voltage range, mpp ( $U_{DC}$ )	335 to 800 V				
Max DC voltage ( $U_{DC,max}$ )	900 V				
Nominal DC voltage, ( $U_N$ )	480 V				
Max DC current ( $I_{DC,max}$ )	10.5 A	12.7 A	14.6 A	19.0 A	25.4 A
Number of DC inputs (parallel)	4, with MC4 quick connectors				
Output (AC)					
Nominal AC output power ( $P_{AC}$ )	3300 W	4000 W	4600 W	6000 W	8000 W
Nominal AC current ( $I_{AC,nom}$ )	14.3 A	17.4 A	20.0 A	26.1 A	34.8 A
Nominal voltage ( $V_{AC,nom}$ )	230 V				
Operating range, grid voltage <sup>1)</sup>	180 to 276 V				
Operating range, grid frequency ( $f_{AC}$ ) <sup>2)</sup>	47 to 63 Hz				
Harmonic distortion of grid current ( $K_{AC}$ )	< 3%				
Power factor (cosφ)	1				
Grid connection	Single phase: L, N and PE				
Transformer	No				
Efficiency					
Max efficiency ( $P_{AC,max}$ )	97.1%				
Euro-eta	96.0%	96.3%	96.3%	96.6%	96.6%

**Fuente:** ABB String Inverters

#### 5.3.3.1. Cálculo de la potencia de entrada del inversor:

$$Pot. de entrada del inversor = \frac{Pot. de salida}{Rendimiento inversor} \dots (19)$$

$$Potencia de entrada del inversor = \frac{7.44}{0.94} = 7.91 \text{ kW}$$

#### 5.3.3.2. Cálculo del número de Inversores

$$Numero de inversores = \frac{Potencia de entrada inversor}{Potencia inversor} \dots (20)$$

$$Numero de inversores = \frac{7.91 \text{ kW}}{3.3 \text{ kW}}$$

$$Numero de inversores = 2.64 \approx 3$$

**Se utilizarán 3 inversores**

#### 5.3.4. Dimensionamiento del banco de baterías

##### 5.3.4.1. Características de las baterías seleccionada

La batería que se utilizará para el diseño de la minicentral fotovoltaica será la batería inundada de plomo ROLLS, la cual cuenta con placas positivas envueltas que dan un doble aislamiento eliminando una posibilidad de desalineación, grietas, ranuras o cortocircuitos en el fondo o a los lados de los separadores.

La batería tiene una reserva líquida que extiende los intervalos en que se añade agua destilada, lo que significa menos mantenimiento. Además, cuenta con las siguientes características principales:

**Tabla N° 15:** Características técnicas de la batería ROLLS 12 CS 11 PS

**DEEP CYCLE**  
**SERIES: 5000**  
**MODEL: 12 CS 11P**

**BATTERY ENGINEERING**  
**WWW.ROLLSBATTERY.COM MADE IN CANADA**

**BATTERY TYPE: 12 VOLTS**

**DIMENSIONS:**

LENGTH	559 MM	22 INCHES
WIDTH	286 MM	11 1/4 INCHES
HEIGHT	464 MM	18 1/4 INCHES

**WEIGHTS:**

WEIGHT DRY	100 KG	220 LBS.
WEIGHT WET	123 KG	272 LBS.

**CONTAINER CONSTRUCTION:**

CONTAINER: (INNER)	POLYPROPYLENE	TERMINALS:	FLAG WITH STAINLESS STEEL NUTS AND BOLTS
COVER: (INNER)	POLYPROPYLENE - HEAT SEALED TO INNER CONTAINER	HANDLES:	MOLDED
CONTAINER: (OUTER)	HIGH DENSITY POLYETHYLENE		
COVER: (OUTER)	HIGH DENSITY POLYETHYLENE SNAP FIT TO OUTER CONTAINER		

**PLATES:**

**POSITIVE PLATE DIMENSION:**

HEIGHT	273 MM	10.750 INCHES
WIDTH	143 MM	5.625 INCHES
THICKNESS	6.73 MM	0.265 INCHES

**CELLS: 6 PLATES/CELL: 11**

POSITIVE PLATE ENVELOPED BY VERTICAL SLYVER GLASS MAT

**SEPARATOR:**

**THICKNESS 3 MM 0.105 INCHES**

**NEGATIVE PLATE DIMENSION:**

HEIGHT	273 MM	10.750 INCHES
WIDTH	143 MM	5.625 INCHES
THICKNESS	4.70 MM	0.185 INCHES

**INSULATION:**

**GLASS MAT 1 MM 0.020 INCHES**

**CAPACITY:**

CRANK AMPS:		
COLD (CCA)	0°F / -17.8°C	845
MARINE (MCA)	32°F / 0°C	1056

**ELECTROLYTE RESERVE:**  
**ABOVE PLATES 95 MM 3.75 INCHES**

**RESERVE CAPACITY:**  
**RC @ 25A 768 MINUTES**

**20 HR RATE: 357**

	<b>HOUR RATE</b>	<b>SPECIFIC GRAVITY</b>	<b>CAP / AH</b>	<b>CURRENT / AMPS</b>
CAPACITY @	100 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	503	5.03
CAPACITY @	72 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	475	6.59
CAPACITY @	50 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	439	8.78
CAPACITY @	24 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	371	15.5
<b>CAPACITY @</b>	<b>20 HOUR RATE</b>	<b>1.280 SP. GR.</b>	<b>357</b>	<b>17.9</b>
CAPACITY @	15 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	332	22.1
CAPACITY @	12 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	311	25.9
CAPACITY @	10 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	296	29.6
CAPACITY @	8 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	278	34.8
CAPACITY @	6 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	253	42.2
CAPACITY @	5 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	239	48
CAPACITY @	4 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	221	55
CAPACITY @	3 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	200	67
CAPACITY @	2 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	171	86
CAPACITY @	1 HOUR RATE	1.280 SP. GR.	121	121

**Surrette**  
BATTERY COMPANY LIMITED

I STATION RD SPRINGHILL, NOVA SCOTIA CANADA B0M 1X0 1.800.681.9914

REV  
Jan-10  
12 CS 11P

Fuente: ANEXO 04.

El número de días de autonomía será de 2 es decir:  $N_D = 2$

#### 5.3.4.2. Cálculo de la capacidad mínima del banco de baterías

$$C_T = \frac{(N_D * E_{elec})}{(P_{Dmax} * V_T * n_{inv} * n_{rb})} \dots (21)$$

Donde:

$C_T$  : Capacidad mínima del banco de baterías, expresada en Ah.

$N_D$  : Número de días de autonomía (rango entre 2 a 5 días).

$E_{elec}$  : Energía eléctrica total media diaria (Wh/día).

$P_{Dmax}$  : Profundidad máxima de descarga profunda u ocasional, expresada en tanto por uno. Para baterías de plomo ácido puede valer entre 0,6 y 0,8.

$V_T$  : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico elegida por el proyectista.

$n_{inv}$  : Eficiencia del inversor

$n_{rb}$  : Eficiencia del conjunto regulador batería

$$C_T = \frac{(N_D * E_{elec})}{(P_{Dmax} * V_T * n_{inv} * n_{rb})}$$

$$C_T = \frac{(2 \times \frac{33\,494}{3})}{(0.7 \times 48 \times 0.85 \times 0.80)}$$

$$C_T = 997.18 \text{ Ah (por grupo)}$$

#### 5.3.4.3. Cálculo del número de baterías que deben conectarse en serie por grupo

$$N_{S\ bat.} = \frac{V_T}{V_{bat.}} \dots (22)$$

Donde:

$N_{S\ bat.}$  : Número de baterías que deben conectarse en serie.

$V_T$  : Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (V).

$V_{bat.}$  : Tensión nominal de la batería (V).

$$N_{S\ bat.} = \frac{48}{12}$$

$$N_{S\ bat.} = 4$$

#### 5.3.4.4. Cálculo del número de baterías que deben conectarse en paralelo por grupo

$$N_{P\ bat.} = \frac{C_T}{C_{bat}} \dots (23)$$

Donde:

$N_{P\ bat.}$  : Número de baterías conectados en paralelo.

$C_T$  : Capacidad total del banco de baterías (Ah).

$C_{bat.}$  : Capacidad individual de una batería (Ah).

$$N_{P\ bat.} = \frac{997,18}{503} = 1.98$$

Del resultado consideraremos 8 baterías por cada controlador



#### 5.3.4.5. Cálculo del número total de baterías

$$N_{TOTAL/grupo} = N_{S\ bat.} \times N_{P\ bat.} \dots (24)$$

$$N_{TOTAL/grupo} = 4 \times 2 = 8 \text{ baterías}$$

$$N_{TOTAL} = 3 \times 8 = 24 \text{ baterías (8 baterías por grupo)}$$

#### 5.3.5. Cálculo de la selección de los conductores de la instalación.

Consideraciones:

La longitud de los conductores eléctricos debe ser lo más corta posible y la sección se realiza de tal manera que la caída de tensión se encuentre dentro de lo recomendado.

##### 5.3.5.1. Cálculo de la Intensidad máxima que debe soportar el tramo campo fotovoltaico – regulador.

$$I_{MAX\ mf} = 1.25 \times I_{CC\ mf} \times N_{ramas\ en\ paral.\ x\ regulador} \dots (25)$$

Donde:

$I_{MAX\ mf}$ : Corriente máxima en la línea Paneles-Regulador (A).

$I_{CC\ mf}$ : Corriente de cortocircuito del panel utilizado (A).

$N_{ramas\ en\ paral.\ x\ regulador}$ : Número de ramas de paneles que deben conectarse a cada regulador.

$$I_{MAX\ mf} = 1.25 \times 5.08 \times 11$$

$$I_{MAX\ mf} = 69.85\ A$$

**5.3.5.2. Cálculo de la intensidad máxima que debe soportar el tramo regulador – inversor.**

$$I_{MAX\ inv} = \frac{1.25 \times P_{carga}}{V_{MIN\ Tacu} \times \eta_{inv}} \dots (26)$$

Donde:

$I_{MAX\ inv}$ : Corriente máxima en la línea Baterías-inversor (A).

$P_{inv}$  : Potencia del inversor en servicio continuo (A).

$V_{trabajo}$  : 48 V.

$\eta_{inv}$  : Rendimiento del inversor.

$$I_{MAX\ inv} = \frac{1.25 \times P_{carga}}{V_{trabajo} \times \eta_{inv}}$$

$$I_{MAX\ inv} = \frac{1.25 \times 7443}{48 \times 0.94}$$

$$I_{MAX\ inv} = 68.73\ A$$

**Tabla N° 16:** Caída de tensión por tramo de la instalación fotovoltaica

SUBSISTEMA	CÁIDA DE TENSIÓN MÁXIMA
PANELES – REGULADOR	3 %
REGULADOR – BATERIAS	1 %
BATERÍAS – INVESOR	1 %

**Fuente:** <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>

Para el cálculo de la sección mínima del conductor usamos la ecuación siguiente:

$$S_{CABLE} = \frac{2x L x I}{56 x \Delta V} \dots (27)$$

**Tabla N° 17:** Cálculo de la sección de los conductores eléctricos por tramo

<b>Generador fotovoltaico - Regulador</b>	$S_{CABLE} = \frac{2 x L x I}{56 x \Delta V}$ $S_{CABLE} = \frac{2 x 5 x 69.85}{56 x 1.44}$ $S_{CABLE} = 8,66 \text{ mm}^2$
<b>Regulador-Batería</b>	$S_{CABLE} = \frac{2 x L x I}{56 x \Delta V}$ $S_{CABLE} = \frac{2 x 3 x 69.85}{56 x 0.48}$ $S_{CABLE} = 15,59 \text{ mm}^2$
<b>Batería- Inversor</b>	$S_{CABLE} = \frac{2 x L x I}{56 x \Delta V}$ $S_{CABLE} = \frac{2 x 2 x 68,73}{56 x 0,48}$ $S_{CABLE} = 10,22 \text{ mm}^2$

**Fuente.** Del Autor.

**Tabla N° 18:** Características eléctricas de los conductores THW-90

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm <sup>2</sup> )								
CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (°)	
							AIRE	DUCTO
mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

**Fuente:** Catalogo de INDECO (ANEXO 05)

De la Tabla N° 18 y Tabla N° 19, Seleccionamos el conductor

**16 mm<sup>2</sup> THW-90.**

### 5.3.6. Protección contra sobreintensidades

#### 5.3.6.1. Selección de elementos de protección: fusibles<sup>20</sup>

Para la protección contra sobreintensidades originadas por sobrecargas o cortocircuitos se empleará fusibles. En este caso se elegirán cartuchos de fusibles de cuchilla de tipo *gPV 1000V DC* de uso específico para instalaciones fotovoltaicas, de la marca **DF Electric**.

<sup>20</sup> <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Entonces, que para que el fusible seleccionado sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 I_{adm} \dots (28)$$

Siendo:

$I_b$ : la intensidad de corriente que recorre la línea.

$I_n$ : la intensidad nominal del fusible asignado a la línea.

$I_{adm}$ : es la máxima intensidad admisible del cable conductor de la línea.



**Figura N° 50:** Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas <sup>21</sup>

**Fuente:** Df-sa.es

---

<sup>21</sup> <http://www.df-sa.es/documentacion/documentos-fotovoltaicos/fusibles-y-bases-fotovoltaicos.pdf>

**Tabla N° 19:** Fusibles para aplicaciones fotovoltaicas

<b>Generador - fotovoltaico - Regulador</b>	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \times I_{adm}$ $69,85 \leq I_n \leq 0,9 \times 124$ $69,85 \leq I_n \leq 111,60$ $I_n = 80A$
<b>Regulador-Batería</b>	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \times I_{adm}$ $69,85 \leq I_n \leq 0,9 \times 124$ $69,85 \leq I_n \leq 111,60$ $I_n = 80A$
<b>Batería- Inversor</b>	$I_b \leq I_n \leq 0,9 \times I_{adm}$ $69,85 \leq I_n \leq 0,9 \times 124$ $69,85 \leq I_n \leq 111,60$ $I_n = 80A$

**Fuente:** <http://www.df-sa.es/documentacion/documentos-fotovoltaicos/fusibles-y-bases-fotovoltaicos.pdf>

### 5.3.6.2. Protección del inversor

En este caso tratamos con circuitos de alterna y las protecciones son con interruptores termomagnéticos para evitar contactos directos usaremos un interruptor diferencial bipolar de 30 mA de sensibilidad. Además, se pondrá un interruptor automático bipolar que debe cumplir:

$$I_{MAX\ carga} = 1,12 \times \frac{7440}{3} \times 220$$

$$I_{MAX\ carga} = 1,12 \times (7440/3) / (220) =$$

$$I_{MAX\ carga} = 13,88\text{ A}$$

Seleccionamos un interruptor termomagnético de 15 A

#### **5.3.6.3. Sistema de puesta a tierra**

Por razones de seguridad para el usuario, debemos evitar que el cuerpo humano sea conductor y pueda sufrir algún daño fatal.

Se debe conocer el tipo de la puesta a tierra, la sección del Cu en los equipos y en el sistema en general.

La sección mínima de la línea principal de tierra es de 16mm<sup>2</sup> según el C.N.E.

#### **5.3.6.4. Distancia mínima entre filas de módulos fotovoltaicos**

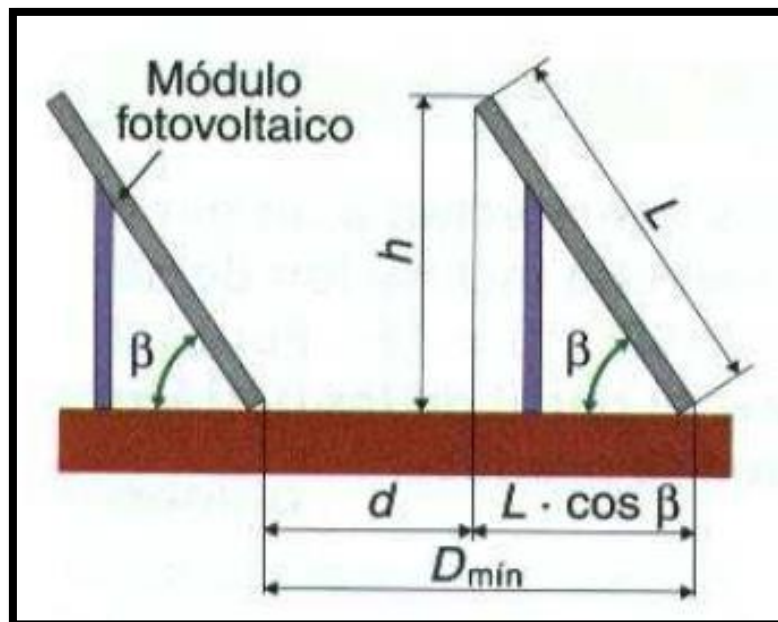
Se trata de un generador fotovoltaico con varias filas de módulos sino se deja la distancia suficiente entre filas se produce el sombreado de las filas posteriores por las delanteras, es necesario dejar una separación mínima entre filas que garantice como mínimo 4 horas de sol, en los días de menor elevación solar (Agustin Castejon). La distancia mínima que cumple el requisito anterior (figura 51).

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61 - \phi)} \dots (29)$$

$$h = L \times \operatorname{sen}(\beta)$$

$$D = d + L \cos(\beta)$$

Por lo tanto, con las medidas de los módulos FV que son de 808x1580 cm. y teniendo en cuenta que a cada regulador va conectado 11 ramas de dos módulos, entonces utilizaremos: 2 estructuras para 8 módulos de dos filas, más una estructura 6 módulos de dos filas. En total colocaremos 22 módulos, formando una sola estructura de 11x2 dispuestos de forma horizontal (para no tener una gran altura y consecuentemente mayores sombras) tendremos:



**Figura N° 51:** Distancia mínima entre filas de módulos instalados en el mismo plano

**Fuente:** (Castejon, 1998)



$$L = 1580 \text{ cm (Altura del módulo fotovoltaico)}$$

$$\beta = 15^\circ; \phi = -6,541^\circ$$

*Reemplazando datos, en las fórmulas anteriores:*

$$h = 408,93 \text{ cm}$$

$$d = 169,04 \text{ cm}$$

$$D_{\min} = 1695,21 \text{ cm}$$

#### **5.4. Diseño del sistema de distribución eléctrica en 220 V**

Está diseñada para transportar la energía eléctrica suministrada a la tensión de servicio de los abonados desde la salida de baja tensión de los puntos de transformación hasta las acometidas. También se ubican en esta red, los dispositivos del alumbrado público.

En este ítem consideraremos la norma D.G.E. “Bases para el diseño de líneas y redes secundarias con conductores autoportantes para electrificación rural”.

##### **5.4.1. Cálculos eléctricos**

###### **5.4.1.1. Cálculo de caída de tensión**

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente:

$$\Delta V = K \times I \times L \times 10^{-3} \dots (30)$$

Donde:

$I$  = Corriente eléctrica que recorre el circuito, en A

$L$  = Longitud del tramo, en m

$K$  = Factor de caída de tensión (ver tabla N° 20)

**Tabla N° 20:** Parámetros y factores de caída de tensión para cables autoportantes.

FORMACION	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE FASE (Ω/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DE ALUMBRADO PUBLICO (Ω/Km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR NEUTRO (Ω/Km)		REACTANCIA INDUCTIVA (Ω/Km)		FACTOR DE CAIDA DE TENSION			CAPACIDAD DE CORRIENTE A 40 °C (A)	
	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	A 20 °C	A 40 °C	XL(30)	XL (10)	K (380-220 V)	K(440-220 V)	K(220 VAP)	Cond. Fase	Cond. A.P.
3x35+16/25	0,888	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,094	0,123	1,607	-	3,272	102	64
3x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,100	0,116	2,223	-	3,272	83	64
3x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,110	0,110	3,538	-	3,272	64	64
3x35/25	0,888	0,929	-	-	1,38	1,478	0,091	-	1,607	-	-	102	-
3x25/25	1,200	1,285	-	-	1,38	1,478	0,095	-	2,223	-	-	83	-
3x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	0,103	-	3,538	-	-	64	-
2x35+16/25	0,888	0,929	1,910	2,045	1,38	1,478	0,086	0,114		3,780	3,272	102	64
2x25+16/25	1,200	1,285	1,910	2,045	1,38	1,478	0,093	0,109		3,776	3,272	83	64
2x16+16/25	1,910	2,045	1,910	2,045	1,38	1,478	0,096	0,096	3,538	3,765	3,272	64	64
2x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,096	-	3,765	3,272	64	-
1x16/25	1,910	2,045	-	-	1,38	1,478	-	0,094	-		3,272	64	-

**Fuente:** Norma D.G.E. RD031-2003-EM

#### **5.4.1.2. Máxima caída de tensión permisible**

La caída máxima de tensión entre la subestación de distribución y el extremo terminal más alejado de la red no deberá exceder el 7,0 % de la tensión nominal, según la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico (NTCSE) para zonas rurales, los valores calculados serán:

Sistema 220 V: Máxima caída tensión 15,4 V.

#### **5.4.1.3. Factor de potencia ( $\cos \Phi$ ):**

- a. Para cargas de servicio particular 1,00
- b. Para cargas de alumbrado público 0,90

#### **5.4.1.4. Factor de simultaneidad**

- a. Cargas de servicio particular 0,50
- b. Cargas de alumbrado público 1,00

#### **5.4.1.5. Distancias mínimas del conductor a superficie del terreno**

**Tabla N° 21:** Distancia mínima de seguridad

Descripción	Distancia
En lugares accesibles sólo a peatones	5,0 m
En zonas no accesibles a vehículos a personas.	3,0 m
En lugares con circulación de maquinaria agrícola	6,0 m
A lo largo de calles y caminos en zonas urbanas	6,0 m
En cruce de calles, avenidas y vías férreas	6,5 m

**Fuente:** CNE

#### **5.4.2. Cálculos mecánicos de conductores autoportantes.**

La finalidad de los cálculos mecánicos es determinar las tensiones y flechas en las diversas condiciones de operación. Las características mecánicas de los cables autoportantes se detallan en la tabla 20.

### 5.4.3. Hipótesis de estado

La hipótesis de estado para los cálculos mecánicos del conductor se define sobre la base de los factores meteorológicos.

- a) Velocidad del Viento
- b) Temperatura

**Tabla N° 22:** Hipótesis para el cambio de estado

Hipótesis	Condiciones
<b>HIPÓTESIS N° 1: Condición de mayor duración (EDS)</b>	<b>a)</b> Temperatura: Media anual (entre 15 y 25°C, salvo excepciones). <b>b)</b> Velocidad de viento: Nula. <b>c)</b> Sobrecarga de hielo: Nula.
<b>HIPÓTESIS N° 2: De mínima temperatura y máxima velocidad</b>	<b>a)</b> Temperatura: Mínima. <b>b)</b> Velocidad de viento: Máxima. <b>c)</b> Sobrecarga de hielo: Nula.
<b>HIPÓTESIS N°3: De máxima temperatura</b>	<b>a)</b> Temperatura: 40°C. <b>b)</b> Velocidad de viento: Nula. <b>c)</b> Sobrecarga de hielo: Nula.

Fuente: CNE

#### 5.4.4. Esfuerzos mecánicos en el conductor portante

- a) El esfuerzo del conductor portante de aleación de aluminio será en todos los casos, de 52,3 N/mm<sup>2</sup>, aproximadamente 18 % del esfuerzo de rotura del conductor.
- b) El esfuerzo máximo del conductor no superará 176 N/mm<sup>2</sup>.
- c) Cuando, debido a la presencia de hielo, los esfuerzos en el conductor portante sobrepasarán lo máximo establecido, consultor podrá adoptar un esfuerzo EDS menor a 52,3 N/mm<sup>2</sup>.

#### 5.4.5. Cálculo de cambio de estado

Los cálculos de cambio de estado se han efectuado mediante la ecuación cúbica cuya expresión matemática es:

$$\sigma_F^2 = \left[ \sigma_F + E\alpha(t_f - t_i) + \frac{W_{ri}^2 x L^2 x E}{24 x A^2 x \sigma_i^2} - \sigma_i \right] = \frac{W_{rF}^2 x L^2 x E}{24 x A^2} \dots (31)$$

**Tabla N° 23:** Características de los cables autoportantes.

FORMACION	SECCION DEL CONDUCTOR PORTANTE (mm <sup>2</sup> )	DIAM EXTERIOR TOTAL (mm)	MASA TOTAL (kg/m)	MODULO DE ELAST. DEL PORTANTE (kN/mm <sup>2</sup> )	COEFICIEN. DE DILAT. TERMICA (1/°C)
3x35+16/25	25	20,0	0,481	60,82	21x10-6
3x25+16/25	25	18,5	0,397	60,82	21x10-6
3x16+16/25	25	16,5	0,310	60,82	21x10-6
3x35/25	25	20,0	0,419	60,82	21x10-6
3x25/25	25	18,5	0,336	60,82	21x10-6
3x16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x35+16/25	25	20,0	0,362	60,82	21x10-6
2x25+16/25	25	18,5	0,307	60,82	21x10-6
2x16+16/25	25	16,5	0,249	60,82	21x10-6
2x16/25	25	16,5	0,187	60,82	21x10-6
1x16/25	25	16,5	0,125	60,82	21x10-6

**Fuente:** norma D.G.E. RD031-2003-EM.



Donde:

$\sigma_i$  : Esfuerzo admisible en la hipótesis inicial (Kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_F$  : Esfuerzo admisible en la hipótesis final (Kg/mm<sup>2</sup>)

$W_{ri}$  : Peso resultante en la hipótesis inicial (Kg/m)

$W_{rF}$  : Peso resultante en la hipótesis final (Kg/m)

$t_i$  : Temperatura en la hipótesis inicial (°C)

$t_F$  : Temperatura en la hipótesis final (°C)

$\sigma$  : Coeficiente de dilatación lineal (°C<sup>-1</sup>)

$E$  : Módulo de elasticidad (Kg/mm<sup>2</sup>)

$A$  : Sección (mm<sup>2</sup>)

$L$  : Vano (m)

#### **La carga Unitaria Resultante del Conductor.**

$$W_r = \sqrt{W_c^2 + W_v^2} \dots (32)$$

**Donde:**

$$W_r = \frac{d \times P_v}{1000} \dots (33)$$

Pv: Presión del viento (Kg/m<sup>2</sup>)

d: Diámetro del conductor (mm)

Wc: Peso propio del conductor (Kg/m)

### Flecha del Conductor:

$$f = \frac{W_r \times L^2}{8A\sigma} \dots (34)$$

$W_r$  : Peso resultante del conductor (Kg/m).

$L$ : Vano (m).

$A$ : Sección del conductor (mm<sup>2</sup>).

$\sigma^2$  : Esfuerzo en la hipótesis considerada (Kg/mm<sup>2</sup>).

**Vano Básico:** El tensado de conductores; comprendidos entre dos estructuras de anclaje debe tener el mismo esfuerzo a lo largo de todo el tendido de la línea.

Analíticamente se demuestra:

$$V_m = \sqrt{\frac{46,5^3 + 51,2^3 + 51,5^3 + 50,3^3 + 51,6^3 + 56,2^3 + 54,8^3}{46,5 + 51,2 + 51,5 + 50,3 + 51,6 + 56,2 + 54,8}}$$

Reemplazando: VANO BÁSICO = 51,97 m.

Consideramos: 52 m.

A continuación, calcularemos la altura de los postes de C.A.C.

### **De la altura de postes.**

La altura de postes queda definida de la siguiente manera:

Distancia del vértice del poste al inicio del perno gancho = 0,30 m.

Flecha máxima del conductor = 0,85 m.

La altura mínima del conductor al suelo. = 5,50 m.

La altura de empotramiento para postes de C.A.C. en terrenos normales

(Norma DGE 015-pd-1). =  $0,10H + 0,60$  m.

$$H = 0,30 + 0,05 + 0,80 + 5,50 + (0,10 \cdot H + 0,60)$$

$$\mathbf{H = 8,05\ m}$$

De acuerdo a esto un poste de 8 m. cumple perfectamente con los requisitos pedidos.

**En cuanto a los soportes para el conductor aéreo**, se utilizarán los soportes normalizados que se detallan en la norma D.G.E. rd023-2003-EM. (Especificaciones técnicas de soportes normalizados para líneas y redes secundarias en electrificación rural).

## 5.5. Metrado y presupuesto

### 5.5.1. Metrado y presupuesto de la minicentral

**Tabla N° 24:** Suministro de materiales para la minicentral solar fotovoltaica

<b>METRADO Y PRESUPUESTO</b>					
<b>"DISEÑO DE UNA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA EL CENTRO POBLADO GUARRAGO - SOCOTA - CUTERVO - CAJAMARCA."</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNID.</b>	<b>METRADO</b>	<b>PRECIO UNITARIO (S/.)</b>	<b>PRECIO PARCIAL (S/.)</b>
<b>MINICENTRAL FOTOVOLTAICA - SUMINISTRO DE MATERIALES</b>					
<b>SUMINISTRO DE MATERIALES</b>					
<b>1</b>	<b>SUMINISTRO EQUIPOS PARA LA CENTRAL SOLAR</b>				
1.01	Módulos fotovoltaicos de 190 Wp DE 24V	unid	66	990,27	65357,82
1.02	Reguladores de carga 150/85 amperios a 48V	unid	3	3621,13	10863,39
1.03	Batería de 503 A-h a 48V	unid	24	3240	77760
1.04	inversores de corriente 3,3kW	unid	3	4325	12975
1.05	06 estructuras para 10 paneles + 01 para 6 paneles fotovoltaicos	unid	6 +1		6810
	<b>SUB TOTALES</b>				<b>173766,21</b>

**Fuente:** Del Autor

**Tabla N° 25:** Costo total directo para la minicentral solar fotovoltaica

<b>"DIMENSIONAMIENTO DE UNA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA PARA SUMINISTRAR ENERGIA ELECTRICA AL CENTRO POBLADO GUARRAGO - SOCOTA-CUTERVO -CAJAMARCA."</b>			
<b>RESUMEN GENERAL SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>			
<b>ITEM</b>		<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>
<b>A</b>		<b>SUMINISTROS DE MATERIALES</b>	<b>173 766,21</b>
<b>B</b>		<b>MONTAJE ELECTROMECHANICO</b>	<b>12 163,63</b>
<b>C</b>		<b>TRANSPORTE DE MATERIALES</b>	<b>8 688,31</b>
<b>F</b>		<b>TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (S/.)</b>	<b>194 618,16</b>

**Fuente:** Del Autor.

### 5.5.2. Medrado y presupuesto de la red de distribución secundaria

**Tabla N° 26:** Valor referencial de la red de distribución eléctrica secundaria

<b>RESUMEN DEL VALOR REFERENCIAL - REDES SECUNDARIAS</b>		
<b>REDES SECUNDARIAS 220V, ALUMBRADO PUBLICO Y CONEXIONES DOMICILIARIAS PARA EL PROYECTO: "DISEÑO DE UNA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO POBLADO GUARRAGO- SOCOTA - CUTERVO - CAJAMARCA."</b>		
<b>RESUMEN GENERAL DE REDES SECUNDARIAS</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>
<b>A</b>	<b>SUMINISTROS DE MATERIALES</b>	95 295,15
<b>B</b>	<b>MONTAJE ELECTROMECHANICO</b>	30 710,19
<b>C</b>	<b>TRANSPORTE DE MATERIALES</b>	7 623,61
<b>F</b>	<b>TOTAL COSTO DIRECTO (C.D.) (\$/.)</b>	<b>133 628,95</b>

**Fuente:** Del Autor.

**Tabla N° 27: Suministro de materiales de la red de distribución secundaria**

VALOR REFERENCIAL- SUMINISTRO DE MATERIALES					
SUMINISTRO DE MATERIALES PARA REDES SECUNDARIAS					
REDES SECUNDARIAS 220V, ALUMBRADO PUBLICO Y CONEXIONES DOMICILIARIAS PARA EL PROYECTO: "DISEÑO DE UNA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO POBLADO GUARRAGO- SOCOTA - CUTERVO - CAJAMARCA."					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	METRADO UNID.	Metrado Total Cantidad	Costo Unitario S/.	TOTAL S/.
<b>1,00</b>	<b>POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO</b>				
1,01	POSTE DE CAC 8m/300 daN (INCLUYE PERILLA)	u	29,00	645,75	18 726,75
1,02	POSTE DE CAC 8m/200 daN (INCLUYE PERILLA)	u	51,00	410,00	20 910,00
	<b>SUB-TOTAL 1:</b>				<b>39 636,75</b>
<b>2,00</b>	<b>CABLES Y CONDUCTORES DE ALUMINIO</b>				
2,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2x25+16/25	Km	0,95	4000,00	3 811,28
2,05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO TIPO 2x25/25	Km	3,45	5000,00	17 248,61
	<b>SUB-TOTAL 2:</b>				<b>21 059,89</b>
<b>3,00</b>	<b>ACCESORIOS DE CABLES AUTOPORTANTES</b>				
3,01	GRAPA DE SUSPENSION ANGULAR PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	61,00	13,00	793,00
3,02	GRAPA DE ANCLAJE PARA CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 A 35 mm²	u	29,00	15,00	435,00
3,03	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u		5,57	
3,04	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 35mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,05	CONECTOR, PARA Al 25mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	9,00	6,70	60,30
3,06	CONECTOR AISLADO, PARA Al 35mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u		10,50	
3,07	CORREA PLASTICA DE AMARRE COLOR NEGRO	u	330,00	0,35	115,50
3,08	CINTA AUTOFUNDANTE PARA EXTREMO DE CABLE	u	36,00	3,05	109,80
3,09	CINTA AISLANTE	roll	150,00	3,60	540,00
	<b>SUB-TOTAL 3:</b>				<b>2 053,60</b>
<b>4,00</b>	<b>CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE</b>				
4,04	CONDUCTOR DE Cu RECOCIDO, TIPO N2XY, BPOLAR, 2x10 mm², CUBIERTA NEGRA	m		11,76	
4,07	CONDUCTOR DE COBRE CONCENTRICO, 2 x 4 mm², CON AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE PVC	m	1170,00	4,90	5 733,00
4,08	CONDUCTOR DE COBRE RECOCIDO, CABLEADO, DESNUDO DE 16 mm²	m	126,00	6,60	831,60
	<b>SUB-TOTAL 4:</b>				<b>6 564,60</b>
<b>5,00</b>	<b>LUMINARIAS, LAMPARAS Y ACCESORIOS</b>				
5,01	PASTORAL TUBO A° G° 38 mm f. INT.; 500mm AVANCE HORIZ.; 720 mm ALTURA, Y 20° INCLINACION, PROVISTO DE 2 ABRAZADERAS DOBLES PARA POSTE DE CAC	u	11,00	90,00	990,00
5,02	LUMINARIA COMPLETA CON EQUIPO PARA LAMPARA DE 50 W	u	11,00	196,00	2 156,00
5,03	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION DE 50 W	u	11,00	35,00	385,00
5,04	PORTA FUSIBLE UNIPOLAR 220V, 5A, PROVISTO CON FUSIBLE DE 1A	u	11,00	25,00	275,00
5,05	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 35 mm² /Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA TIPO PERFORACIÓN	u	11,00	10,50	115,50
5,06	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm² /Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO TIPO CUÑA	u	11,00	5,92	65,12
	<b>SUB-TOTAL 5:</b>				<b>3 986,62</b>
<b>6,00</b>	<b>RETENIDAS Y ANCLAJES</b>				
6,01	CABLE DE ACERO GRADO SIEMENS MARTIN, DE 10 mm ø, 7 HILOS	m	340,00	4,20	1 428,00
6,02	PERNO ANGULAR CON OJAL-GUARDACABO DE A° G°, 16 mm ø x 203 mm, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRATUERCA	u	204,00	9,50	1 938,00
6,04	VARILLA DE ANCLAJE DE A° G° DE 16 mm ø x 2,40 m, PROV. DE OJAL GUARD. EN UN EXTREMO; TCA Y CTCA EN EL OTRO	u	34,00	35,00	1 190,00
6,05	ARANDELA DE ANCLAJE, DE A° G°, 102 x 102 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	34,00	5,00	170,00
6,06	MORDAZA PREFORMADA DE A° G° PARA CABLE DE 10 mm ø	u	68,00	9,00	612,00
6,07	ARANDELA CUADRADA CURVA DE A° G°, 57 x 57 x 5 mm, AGUJERO DE 18 mmø	u	68,00	2,00	136,00
6,08	SOPORTE DE CONTRAPUNTA DE 51 mmøx1000mm DE LONG. CON ABRAZADERA PARTIDA EN UN EXTREMO	u		70,00	
6,09	ALAMBRE DE ACERO N° 12; PARA ENTORCHADO	m	102,00	1,00	102,00
6,10	BLOQUE DE CONCRETO DE 0,40 x 0,40 x 0,15 m	u	34,00	28,00	952,00
6,11	CONECTOR BIMETÁLICO FORRADO PARA Al 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	34,00	6,70	227,80
6,12	CONECTOR DOBLE VIA BIMETÁLICO PARA CABLE DE ACERO DE 10mmø Y COBRE DE 16 mm²	u	34,00	5,92	201,28
	<b>SUB-TOTAL 6:</b>				<b>6 957,08</b>
<b>7,00</b>	<b>ACCESORIOS DE FERRETERIA PARA ESTRUCTURAS</b>				
7,01	PERNO CON GANCHO DE 16mm ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,80	
7,02	PERNO CON GANCHO DE 16mm ø, PROVISTO DE ARANDELA, TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	61,00	10,80	658,80
7,03	PERNO DE A°G° DE 13mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		7,70	
7,04	PERNO DE A°G° DE 13mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	80,00	8,20	656,00
7,05	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 203 mm	u		9,30	
7,06	PERNO CON OJAL, DE A°G° DE 16mm ø, PROVISTO DE TUERCA Y CONTRAT., LONG. 254 mm	u	28,00	11,20	313,60
7,07	TUERCA-OJAL DE A°G° PARA PERNO DE 16 mmø	u	1,00	8,30	8,30
7,08	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19 mm PROVISTO DE HEBILLA, 40 cm LONGITUD	u		6,58	
7,09	ARANDELA CUADRADA CURVA DE 57x57 mm, AGUJERO DE 18mmø	u	117,00	2,00	234,00
7,11	CAJA DE DERIVACION PARA ACOMETIDAS, SISTEMA 220 V (10 BORNERAS EN CADA BARRA DE Cu)	u		185,00	
7,12	PORTALINEA UNIPOLAR DE A°G°, PROVISTO DE PIN DE 10 mm ø	u	160,00	4,28	684,80
	<b>SUB-TOTAL 7:</b>				<b>2 555,50</b>
<b>8,00</b>	<b>PUESTA A TIERRA</b>				
8,01	ELECTRODO DE ACERO RECUBIERTO DE COBRE DE 16 mm ø x 2,40 m	u	14,00	43,00	602,00
	CONECTOR BIMETÁLICO PARA Al 25 mm² Y COBRE DE 16mm², TIPO CUÑA	u	14,00	7,20	100,80
8,02	CONECTOR DE BRONCE PARA ELECTRODO DE 16 mm ø Y CONDUCTOR DE COBRE 16 mm²	u	14,00	6,50	91,00
	<b>SUB-TOTAL 8:</b>				<b>793,80</b>
<b>9,00</b>	<b>CONEXIONES DOMICILIARIAS</b>				
9,01	TUBO DE A°G° STANDARD / REDONDO DE 19mm x 1,5mm x 2,5m, PROVISTO DE CODO	u	27,00	33,49	904,23
9,06	ARMELLA TIRAFONDO DE 10mm fx 64mm DE LONGITUD	u	54,00	1,20	64,80
9,07	TARUGO DE CEDRO DE 13 mm x50 mm	u	54,00	0,66	35,64
9,08	ALAMBRE GALVANIZADO N° 12 AWG	m	216,00	1,00	216,00
9,09	CONECTOR BIMETÁLICO AISLADO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA FASE AISLADA, TIPO PERFORACIÓN	u	54,00	10,50	567,00
9,10	CONECTOR BIMETÁLICO, PARA Al 25 mm²/Cu 4-10 mm², PARA NEUTRO DESNUDO, TIPO CUÑA	u	54,00	4,30	232,20
9,11	TEMPLADOR DE A°G°	u	108,00	2,10	226,80
9,12	CAJA METÁLICA PORTAMEDIDOR, EQUIPADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 10A	u	54,00	76,66	4 139,64
9,13	MEDIDOR MONOF. DE ENERGIA ACTIVA, TIPO ELECTRONICO CON MICRO PROCESADOR DE 220 V; 10-40 A; 60 Hz; CLASE	u	54,00	90,00	4 860,00
	<b>SUB-TOTAL 9:</b>				<b>11 246,31</b>
<b>TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES</b>				<b>S/.</b>	<b>94 854,15</b>

**Fuente: Del Autor**

**Tabla N° 28:** Montaje electromecánico para la red de distribución secundaria

VALOR REFERENCIAL					
MONTAJE ELECTROMECHANICO PARA REDES SECUNDARIAS					
REDES SECUNDARIAS 220V, ALUMBRADO PUBLICO Y CONEXIONES DOMICILIARIAS PARA EL PROYECTO: "DISEÑO DE UNA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO POBLADO GUARRAGO- SOCOTA - CUTERVO - CAJAMARCA."					
B: MONTAJE ELECTROMECHANICO					
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	METRADO UNID.	METRADO TOTAL CANT.	PRECIO UNIT. S/.	TOTAL S/.
<b>5,00</b>	<b><u>MONTAJE DE CONDUCTORES AUTOPORTANTES</u></b> COMPRENDE TENDIDO Y PUESTA EN FLECHA DE :				
5,01	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 3X16+16/25 mm2	km	0,0	752,35	0,00
5,02	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X25+16/25 mm2	km	0,95	606,89	578,26
5,05	CONDUCTOR AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 2X16/25 mm2	km	3,4	510,25	1 760,22
	<b>SUB-TOTAL 5:</b>				<b>2 338,48</b>
<b>6,00</b>	<b><u>INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</u></b>				
6,01	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO I (arcilloso y/o conglomerado)	m <sup>3</sup>	21,6	31,62	681,73
6,02	EXCAVACIÓN EN TERRENO TIPO II (rocoso)	m <sup>3</sup>	0,0	112,44	0,00
6,03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1 EN POSTE DE CONCRETO	u	14,0	18,19	254,66
6,04	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE PUESTA A TIERRA	m <sup>3</sup>	28,0	45,57	1 277,33
	<b>SUB-TOTAL 6:</b>				<b>2 213,72</b>
<b>7,00</b>	<b><u>PASTORALES, LUMINARIAS Y LAMPARAS</u></b>				
7,01	INSTALACIÓN DE PASTORAL DE A° G°	u	11,0	19,63	215,93
7,02	INSTALACIÓN DE LUMINARIA Y LÁMPARA	u	11,0	34,58	380,38
	<b>SUB-TOTAL 7:</b>				<b>596,31</b>
<b>8,00</b>	<b><u>CONEXIONES DOMICILIARIAS</u></b>				
	INSTALACIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA, QUE COMPRENDE : CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIAS, MONTAJE DE MEDIDOR Y CONTRASTE DEL MEDIDOR.				
8,03	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN CORTA (SIN MEDI	u	26,0	35,26	916,76
8,04	CONEXIÓN DE ACOMETIDA DOMICILIARIA CONFIGURACIÓN LARGA (SIN MEDI	u	29,0	42,67	1 237,43
8,05	INSTALACION DE MEDIDOR DE ENERGÍA ACTIVA ELECTRONICO	u	54,0	11,09	598,86
8,06	CONTRASTE DE MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA - ELECTRÓNICO	u	54,0	20,00	1 080,00
	<b>SUB-TOTAL 8:</b>				<b>3 833,05</b>
<b>9,00</b>	<b><u>PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO:</u></b>				
9,01	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	Loc	1,0	452,97	452,97
9,02	EXPEDIENTE TECNICO FINALES CONFORME A OBRA (1 ORIGINAL + 3 COPIAS) DE REDES SECUNDARIAS, INCLUYE LA PRESENTACIÓN DIGITALIZADA DE L EXPEDIENTE EN UN CD	Glb	1,0	150,00	150,00
	<b>SUB-TOTAL 9:</b>				<b>602,97</b>
<b>TOTAL MONTAJE ELECTROMECHANICO</b>				<b>S/.</b>	<b>30 710,19</b>

**Fuente:** Del Autor

### 5.5.3. Presupuesto total del sistema de generación, distribución de energía eléctrica en Centro Poblado: “Guarrago”

**Tabla N° 29:** Presupuesto total

<b>PRESUPUESTO FINAL DEL SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA</b>		
<b>PRESUPUESTO FINAL DEL SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA EN EL CENTRO POBLADO GUARRAGO-SOCOTA-CUTERVO-CAJAMARCA</b>		
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
A	PRESUPUESTO DE LA RED DE DISTRIBUCION	133 628,95
B	PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE GENERACION	194 618,16
	TOTAL S/.	328 247,11
G	GASTOS GENERALES (10%)	32 824,71
H	UTILIDADES 10%	32 824,71
I	COSTO TOTAL SIN I.G.V. (S/.)	393 896,53
J	I.G.V. (S/.)	74 840,34
	COSTO TOTAL INLUIDO I.G.V. (S/.)	468 736,87

**Fuente:** Del Autor



## CAPITULO VI: CONCLUSIONES

### 6.1. Conclusiones

- a) Se realizó el cálculo del consumo de energía diaria total proyectada de las 50 viviendas, 01 centro educativo de nivel inicial y primaria, 01 centro educativo nivel secundaria, 01 local comunal y 01 iglesia el cual es de 33,49 kWh/día y una potencia de 7,44 kW teniendo en cuenta un periodo de tiempo de utilización de cada equipo instalado en cada vivienda.
- b) Se obtuvo los datos de radiación solar promedio mensual de todo un año por medio de datos estadísticos brindados por la página de la NASA, software SOLARIUS PLUS y el SENAMHI, en donde se tomó el nivel de radiación solar más bajo perteneciente al mes de febrero con un valor de 4,50 kWh/m<sup>2</sup>/día.
- c) La mini central eléctrica fotovoltaica estará compuesta por 66 paneles fotovoltaicos de 190 Wp de potencia cada uno, 24 baterías de acumuladores, 03 reguladores de carga y 03 inversores. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de 12,54 kWp.
- d) Se diseñó el esquema unifilar para poder identificar gráficamente los componentes de todo el sistema de generación y distribución de energía.
- e) Se presupuestó la minicentral solar fotovoltaica con red de distribución en baja tensión dando un total de: S/. 468 736,87

## BIBLIOGRAFÍA

- Agustin Castejon, G. S. (s.f.). *instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- Castejon, A. (1998). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España.
- Cespedes Molano, L. E. (2007). *Evaluacion tecnica y diagnostico de la calidad de la nergia electrica en la planta Quala S.A*. Bogota.
- Cobas Pereira, M. (s.f.). *Calidad del suministro de la energia electrica*.
- DGE. (2011). *Guia de orientacion para la seleccion de la tarifa electrica para usuarios en media tension*. PERU.
- DGE-MINEM. (2009). *Ley de coneciones electricas y su reglamento*.
- Diaz Corcobado, T. (2008). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Mexico.
- Diaz hernandez, M. (2012). *Analisis del efecto de las lamparas fluorescentes compactas en la calidad de la energia electrica en sistemas residenciales utilizando el software LABVIEW* “.
- Diaz Hernandez, M. G. (2010). *Analisis del efecto de las armonicas en las lamparas fluorescentes compactas en la calidad de la energia electrica en sistemas residenciales utilizando el software Labview*.
- electricidad, R. d. (2001). *Reglamento de Seguridad e higiene ocupacional del subsector electricidad*. peru.
- Energia Innovadora. (2017). *Cotizacion del sistema fotovoltaico de bombeo de agua*.
- Enriquez Harper, G. (s.f.). *ABC de la calidad de la ENERGIA ELECTRICA*. Mexico: Limusa.
- Grande Turcios, N. M. (2012). *Calidad de energia y eficiencia energetica en edificios publicos*. El Salvador.
- IEA. (2016). *World energy Outllok*.
- Indeco. (s.f.). *Catalogo de cables NYY -DUPLEX*.
- Ixtebe Portabelle, C. (2010). *Proceso de creacion de una planta solar fotovoltaica conectada a red*. Barcelona.
- Joachin Barrios, C. D. (2008). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aisado para el suministro de energia electrica ala comunidad Buena Vista, San Marcos*. Guatemala.
- MEM. (020-97-EM). *Norma tecnica de calidad de los servicios electricos*.
- MINEM, D. (2001). *Codigo Nacional de Eelectricidad Suministro*.

- Moreno. (2009). *Estudio de los parametros de calidad de la energia electrica del edificio sede PDVSA REFINACIÓN ORIENTE*". Puerto La Cruz.
- Muñoz Anticon, D. F. (2005). *Aplicacion de la energia solar para electrificacion rural en zonas marginales del pais*. Lima.
- Paredes Rubio, A. R. (2001). *Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica*. Mexico.
- Pericaguan Moreno, J. A. (2009). *Estudio de los parametors de calidad de la energia electrica del edificio sede PDVSA Refinacion Orinte*. Puerto La Cruz.
- Ramirez Sanchez, J. M. (2010). *Metodologia para el analisis de propagacion y filtrado de armonicos en sistemas electricos*. Mexico.
- redes, A. d. (s.f.). *Analizador de redes MI 2892*.
- Rodriguez Gonzales, J. L. (2012). *Solución a los problemas de corrientes y voltajes armónicos en los sistemas industriales*.
- Saucedo Martinez, D. A. (2008). *Factores que afectan la calidad de la energia electrica y su solucion*. Mexico.
- SENAMHI. (2003). *Atlas de energia solar del Peru*.
- Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP*. Lima.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 01. FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SELECCIONADOS**

**ANEXO N° 02. FICHA TÉCNICA DE LOS REGULADOR**

**ANEXO N° 03. FICHA TÉCNICA DE LOS INVERSORES**

**ANEXO N° 04. FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS**

**ANEXO N° 05. CATALOGO DE CONDUCTORES THW-90**

**ANEXO N° 06. CATALOGO DE FUSIBLES**

**ANEXO N° 07. RELACIÓN DE BENEFICIARIOS CON LA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA**

**ANEXO N° 08. PLANO DEL EQUIPAMIENTO DE LA MINICENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA**

**ANEXO N° 09. PLANO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN**

**ANEXO N° 10. PLANO DE MONTAJE DE LOS PANALES FOTOVOLTAICOS**