

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE UN PARQUE DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA DE 51.7 MW, EN EL CENTRO
POBLADO DE ARCATA - AREQUIPA**

Tesis presentado por el bachiller:

Mendoza Serrano, Anthony Peter

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Electrónico

especialidad en Telecomunicaciones

Asesor: Mg. Copa Pineda, Juan Carlos

Arequipa - Perú

2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA ELECTRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 21 de Diciembre del 2020

Dictamen: 002271-C-EPIE-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 002271, presentado por:

2011152221 - MENDOZA SERRANO ANTHONY PETER

Titulado:

**ANALISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE UN PARQUE DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DE 51.7 MW, EN
EL CENTRO POBLADO DE ARCATA - AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1546 - DELGADO BARRA LUCY ANGELA
DICTAMINADOR



1692 - VALDIVIESO HERRERA DIANA ISABEL
DICTAMINADOR



1886 - COPA PINEDA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR

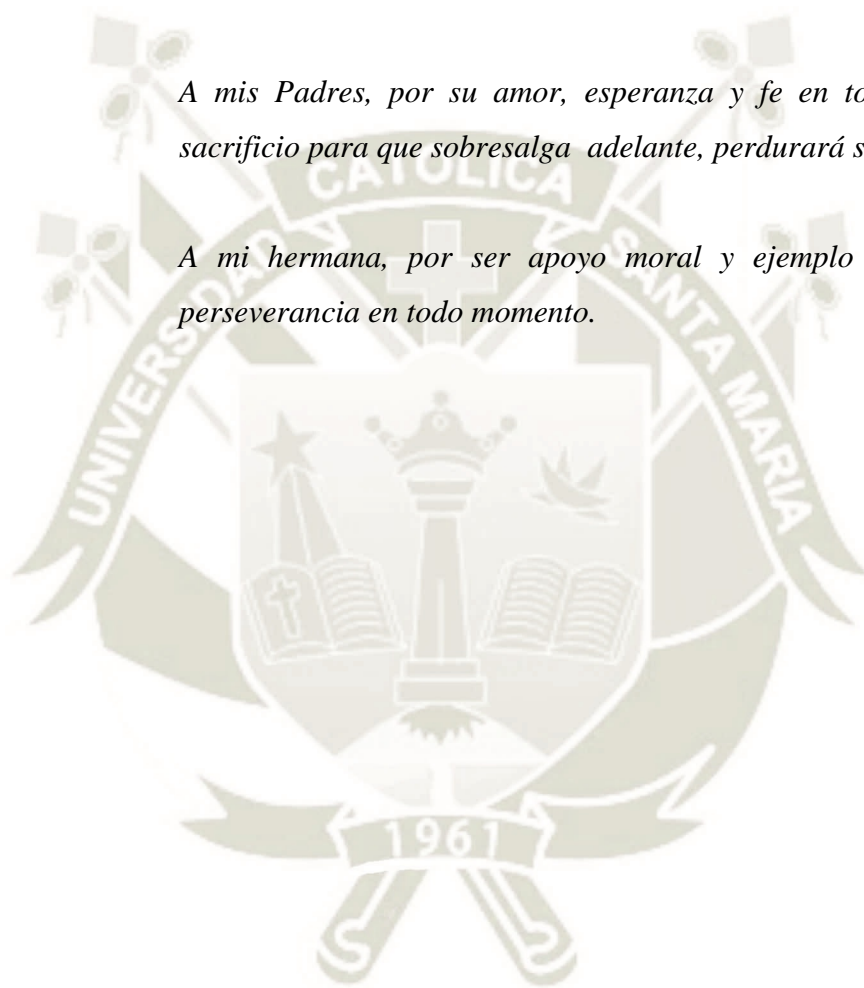


Dedicatoria

El presente trabajo investigativo se lo dedico a Dios, porque por el todas las cosas que nos parecen imposibles se vuelven posibles.

A mis Padres, por su amor, esperanza y fe en todo momento, su sacrificio para que sobresalga adelante, perdurará siempre en mí.

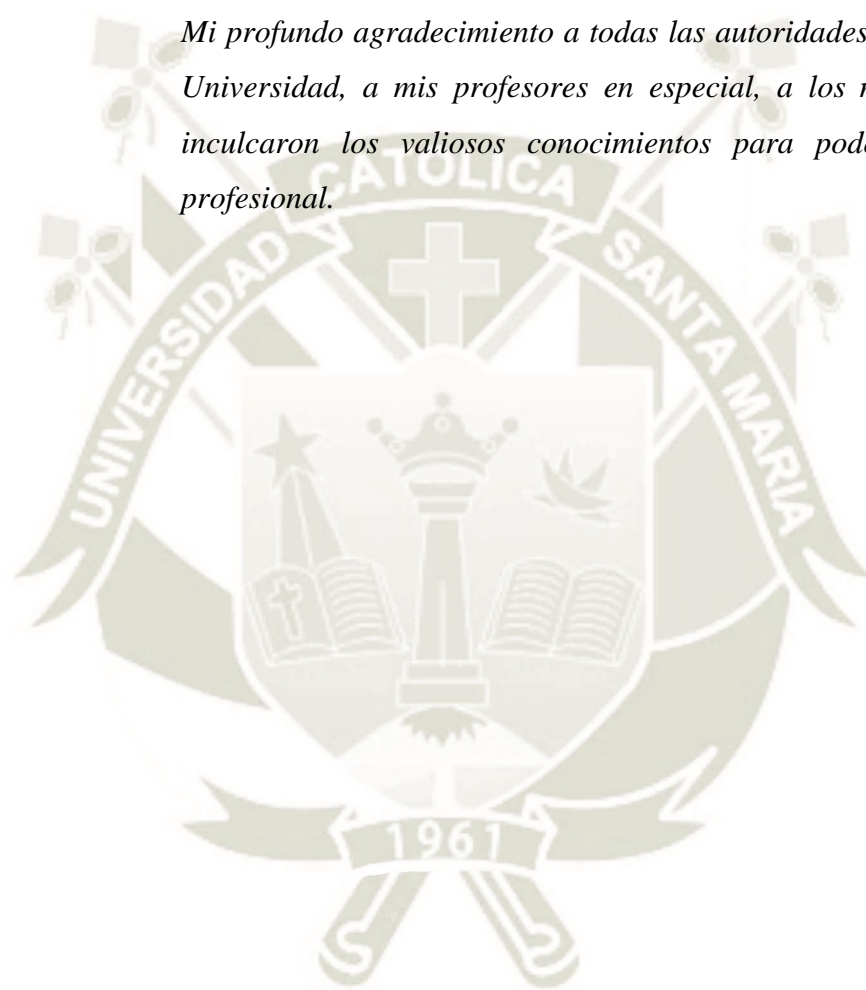
A mi hermana, por ser apoyo moral y ejemplo de optimismo y perseverancia en todo momento.



Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud a Dios, y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal de la Universidad, a mis profesores en especial, a los maestros que me inculcaron los valiosos conocimientos para poder ser un buen profesional.



RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo analizar y determinar la existencia de condiciones favorables físicas y medioambientales en la zona de Arcata, para la implementación de paneles fotovoltaicos y el diseño eléctrico y electrónico de un sistema de supervisión y monitoreo del parque fotovoltaico por medio de un software sistema SCADA para su máximo aprovechamiento y rendimiento.

Nuestro tema de investigación se desarrolla en el centro poblado de Arcata, lugar que posee un alto índice de radiación, por otro lado como objeto de análisis proponemos el estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en un terreno de 3 Ha, con una capacidad de 51.7 MW de los cuales 7.7 MW serán entregados a la población, mientras la producción restante (44 MW) será para la distribución del alumbrado público, municipio de la zona y reabastecimiento de la planta, se considera la posibilidad de ser integrada a la red de energía de la región, en conformidad con el Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables del Perú (Decreto Supremo N° 024-2013-EM).

La dimensión del Parque permitirá generar 51700000 W de potencia, y está constituido por :

- a. 144 módulos o paneles de 400 W de potencia nominal unitaria, formando 3 módulos A,B y C, donde A y B, tienen 2 arreglos en serie de 30 paneles en paralelo cada una, con un total de 60 paneles tanto para el módulo A y el módulo B, mientras que el bloque C con 2 arreglos en serie de 12 paneles en paralelo, obteniendo un total de 22 paneles para el módulo C, la suma total de los paneles de los tres módulos nos ofrece 144 paneles.

- b. Un inversor de 15 kW para el módulo A, 24 kW para el módulo B, un inversor de 5 kW para el módulo C, cada módulo con una función única, como: distribuir energía eléctrica al centro poblado, al alumbrado público, municipio de la zona y el autoabastecimiento de la energía para la propia planta, todo ello proveniente de los módulos solares.

La alternativa para brindar suministro de energía eléctrica a dichas poblaciones, sin emitir gases de efecto invernadero, es mediante sistemas fotovoltaicos. En cuanto a los resultados significativos se tiene: el sistema de supervisión y medición de los paneles solares por medio de un software aplicativo en SCADA, para ello se utilizará “Factory Talk View de Rockwell Automation”, “RS logix 5000” y “Studio 5000”, todos estos software dedicados especialmente para el control y obtención de datos e información de el sistema de paneles solares.

Palabras claves: Studio 5000, Factory Talk View

ABSTRACT

This research work aims to analyze and determine the existence of favorable physical and environmental conditions in the Arcata area, through the implementation of photovoltaic panels and the electrical and electronic design of a supervision and monitoring system of the photovoltaic park by means of a software for its maximum use and performance.

Our research topic is developed in the populated center of Arcata, a place that has a high radiation index, on the other hand as an object of analysis we propose the technical and economic study for the implementation of solar panels in a 3 Ha land, with a capacity of 51.7 MW of which 7.7 MW will be delivered to the population, while the remaining production (44 MW) will be for the distribution of public lighting, municipality of the area and replenishment of the plant, the possibility of being integrated into the energy network in the region, in accordance with the Regulation of Electricity Generation with Renewable Energies of Peru (Supreme Decree No. 024-2013-EM).

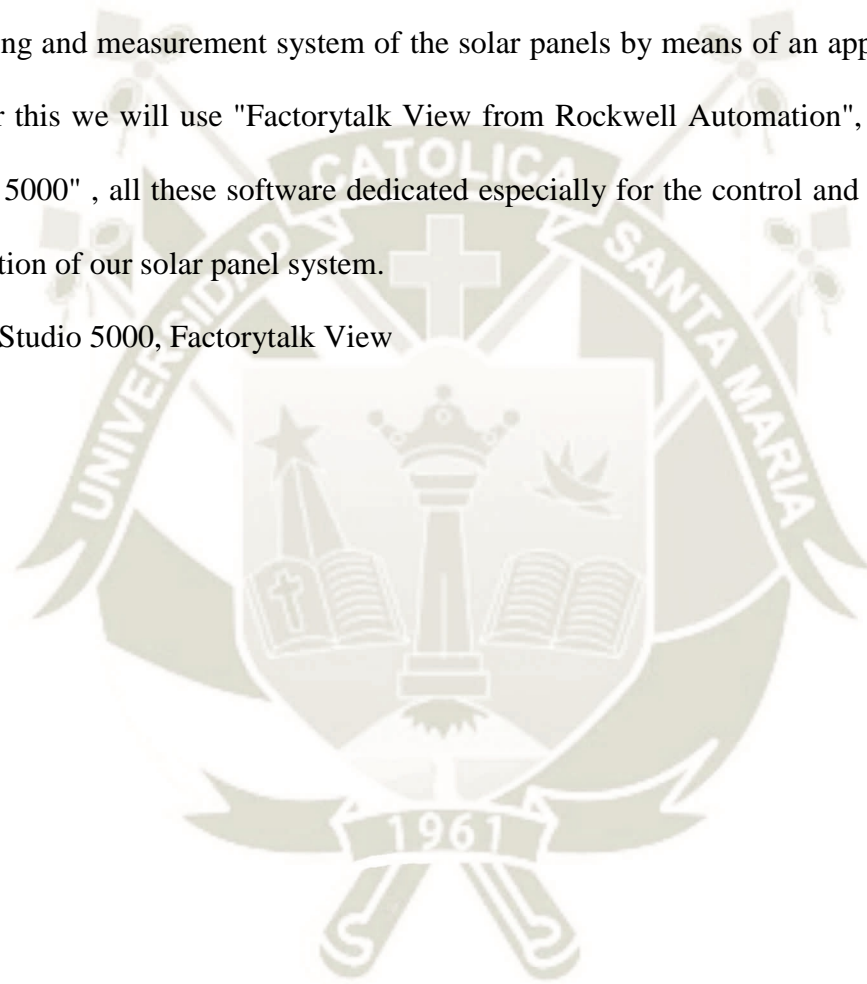
The size of the Park allows the generation of 51,700,000 W of power, and is made up of:

- a. 144 modules or panels of 400 W nominal unit power, forming 3 modules AB and C, where A and B, have 2 series arrangements of 30 panels in parallel each, with a total of 60 panels for both module A and module B, while block C with 2 arrays in series of 12 panels in parallel, obtaining a total of 22 panels for module C, the total sum of the panels of the three modules offers 144 panels.
- b. A 15 kW inverter for modules A, 24 kW for module B, a 5 kW inverter for module C, each module with a unique function, such as distributing to the town center, public

lighting, the municipality of the area and self-supply of the same energy for the same plant, all this coming from the solar modules.

The alternative to provide electricity supply to these populations, without emitting greenhouse gases, is through photovoltaic systems. Regarding the significant results, we have: the monitoring and measurement system of the solar panels by means of an application software in scada, for this we will use "Factorytalk View from Rockwell Automation", "RS logix 5000" and "Studio 5000" , all these software dedicated especially for the control and obtaining of data and information of our solar panel system.

Key words: Studio 5000, Factorytalk View



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como Título: “ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE UN PARQUE DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA DE 51.7 MW EN EL CENTRO POBLADO DE ARCATA-AREQUIPA”.

Con este trabajo, se desea dar a conocer de manera global, que el aprovechamiento de las energías renovables está en el principio de su apogeo, ya que en diversas partes del mundo estas mismas, son aprovechadas de manera alternativa y que en algún momento llegarán a ser prioridad. Teniendo como líderes a países como China, India y Estados Unidos, que cuentan con las plantas de mayor envergadura en el planeta.

Actualmente en nuestro país, solo se tiene el 2.3 % de participación de energías renovables, cifra muy pequeña e ínfima, considerando que una de las principales razones para considerar el uso de este tipo de energía es la conservación del planeta, reduciendo de esta manera la contaminación ambiental que está poniendo en peligro nuestra existencia.

La tesis está estructurada en los siguientes capítulos:

Capítulo I: se presenta el Planteamiento del Problema, la Justificación de la realización del estudio y los Objetivos a alcanzar.

Capítulo II: comprende el Marco Teórico, en el cual se presenta una descripción global de la energía solar en el mundo y en el Perú.

Capítulo III: se desarrolla el estudio técnico del proyecto, implementación y equipos necesarios

Capítulo IV: comprende la supervisión y control de la planta fotovoltaica, a través de un SCADA eléctrico que se prueba a través de un software de simulación (Factory Talk View)

Capitulo V: comprende la evaluación económica y presupuesto del proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN	III
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCION.....	IX
CAPÍTULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Enunciado del problema.....	1
1.2 Interrogantes investigativas.....	3
1.2.1. Interrogante principal.....	3
1.2.2. Interrogantes secundarias.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.3.1. Académico	3
1.3.2. Personal.....	4
1.3.3. Trascendencia	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5 Limitaciones de la investigación.....	5
1.5.1. Limitación de campo.....	5
1.5.2. Limitación documental	6
1.6 Análisis de variables	6
1.7 Planteamiento de la hipótesis	8
CAPÍTULO II.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes Previos	9

2.1.1. Antecedente 01 estudios - tesis	9
2.1.2. Antecedente 02 plantas instaladas	9
2.2 Energías renovables	12
2.2.1. Energía solar	13
2.2.2. Maneras de usar la energía solar	14
2.3 Energía fotovoltaica	15
2.3.1. Componentes del sistema de energía fotovoltaica	16
2.3.2. Beneficios de la instalación fotovoltaica	28
2.3.3. Esquemas de instalación fotovoltaica	28
2.3.4. Factores de eficiencia y rendimiento	31
2.4 Normatividad de Energía Fotovoltaica	43
2.4.1. Marco regulatorio de las RER y potencial de las energía fotovoltaicas	43
2.5 Energía Eléctrica Requerida.....	46
2.5.1. La demanda energética y la matriz energética.....	46
2.5.2. Demanda energética en el Perú.....	48
2.5.3. Energía eléctrica requerida en el centro poblado de Arcata	49
CAPÍTULO III	54
3. DISEÑO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA.....	54
3.1 Radiación en el centro poblado de Arcata.....	54
3.1.1. Macro localización.....	54
3.1.2. Micro localización	54
3.1.3. Radiación en Arequipa.-Arcata.....	57
3.1.4. Ecuaciones para las graficas de las curvas IV y PV del panel solar fotovoltaico....	60
3.2 . Diseño de la planta fotovoltaica.....	78

3.2.1. Introducción	78
3.2.2. Celda fotovoltaica	78
3.2.3. Cálculo del número de paneles solares	81
3.2.4. Producción de energía del sistema solar fotovoltaico.....	93
3.2.5. Regulador de voltaje	94
3.2.6. Baterías	98
3.2.7. Inversor fotovoltaico.....	104
3.2.8. Instrumentación : medidor de energía.....	108
3.3 . Diseño Eléctrico en el Proyecto	111
3.3.1. Selección del cable.....	111
3.3.2. Esquema de conexiones eléctricas	115
3.3.3. Elementos para la instalación.....	117
3.3.4. Instalación en corriente continua	121
3.3.5. Instalación en corriente alterna (baja tensión)	123
3.3.6. Red de tierra.....	125
3.3.7. Sistemas de protección.....	128
3.4 Punto de energía.....	129
CAPÍTULO IV.....	130
4. SUPERVISIÓN Y CONTROL DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA	130
4.1 Introducción	130
4.2 Monitoreo y control de la protección del sistema SCADA.....	131
4.3 Definición de variables a controlar	132
4.4 Desarrollo del sistema SCADA	136
4.5 Simulación del Sistema SCADA	140

4.6 Monitoreo y protocolo de comunicación	149
CAPÍTULO V.....	150
5. EVALUACIÓN ECONÓMICA	150
5.1 Presupuesto.....	150
5.2 Costo Anual de Operación, Mantenimiento y Administración	155
5.3 Análisis Económico	157
5.4 Ingresos Financieros.....	159
REFERENCIAS	163
ANEXOS.....	166
PLANOS DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	167
Plano 1.....	169
Plano 2.....	170
Plano 3.....	171
Plano 4.....	172

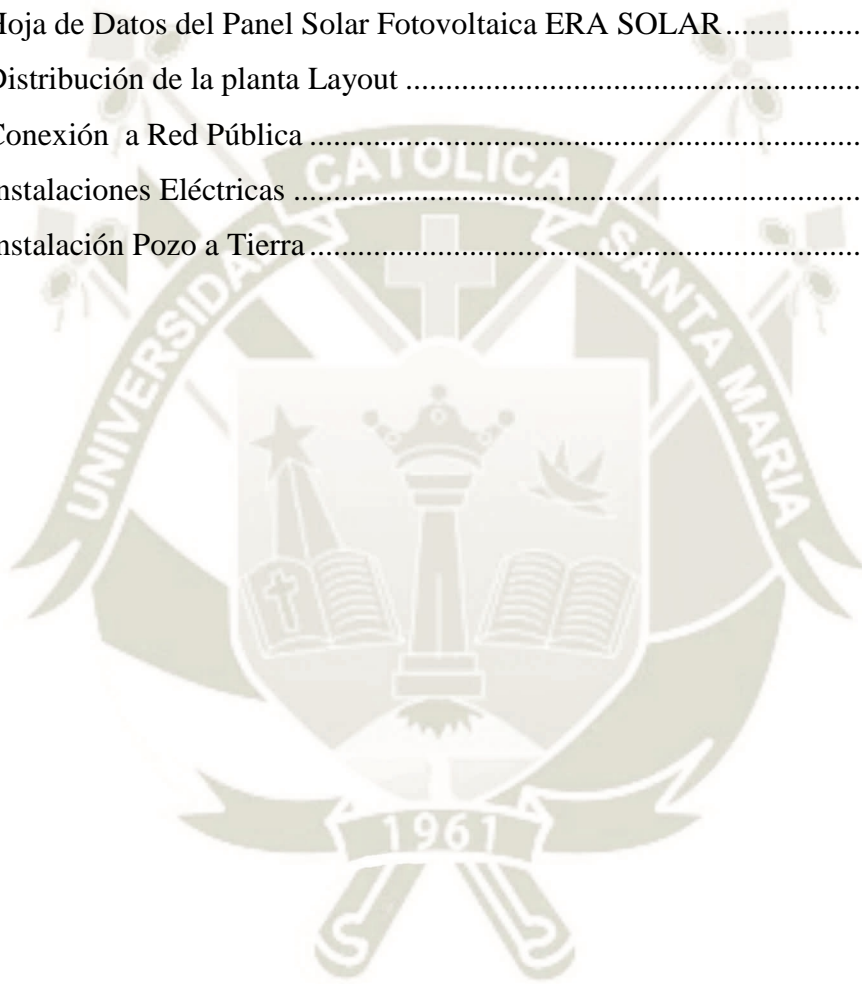
ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> : La Producción Mundial de Energía Fotovoltaica	4
<i>Figura 2</i> : Planta de Energía Fotovoltaica de Rubí de 180 MW	11
<i>Figura 3</i> : Planta Longyangxia Hydro-solar PV Station.	12
<i>Figura 4</i> : Esquema Base de una Planta Solar.....	13
<i>Figura 5</i> : Celdas Fotovoltaicas Urbanas.....	16
<i>Figura 6</i> : Características Constructivas de una Panel Fotovoltaico.....	17
<i>Figura 7</i> : Curvas Características del Módulo Fotovoltaico a Diferentes Temperaturas	18
<i>Figura 8</i> : Curva de Potencia Para un Panel Solar Fotovoltaica	19
<i>Figura 9</i> : Formas Diferentes de Onda en Corriente Alterna	22
<i>Figura 10</i> :. Inversor centralizado	24
<i>Figura 11</i> : Inversor en Cadena.....	25
<i>Figura 12</i> .Estructura de Soporte para los Módulos.....	26
<i>Figura 13</i> : Esquema de Estructura del Panel con una Inclinación.....	27
<i>Figura 14</i> :Esquema de una Instalación Fotovoltaica Conectada a Red	29
<i>Figura 15</i> : Esquema de una Instalación Fotovoltaica Aislada	30
<i>Figura 16</i> : Esquema de una Instalación Hibrida	31
<i>Figura 17</i> :Factor de Forma (FF).....	33
<i>Figura 18</i> : Efectos de los Niveles de Radiación Sobre la Corriente	34
<i>Figura 19</i> : Efectos de la Temperatura Sobre la Generación de Energía en un Panel Solar	36
<i>Figura 20</i> : Célula Solar en Circuito Abierto y Cortocircuito.....	37
<i>Figura 21</i> : Punto de Máxima Potencia de un Panel Solar.....	38
<i>Figura 22</i> : Grafico del Voltaje en Función de la Corriente de un Panel Solar	39
<i>Figura 23</i> : Masa de Aire entre el Sol y la Superficie Captadora.....	41
<i>Figura 24</i> : Representación del Cenit y Nadir.....	41
<i>Figura 25</i> : Ángulos de Inclinación (β) y Acimut (α).....	42
<i>Figura 26</i> : Evolución del Marco Regulatorio	44
<i>Figura 27</i> : Promoción de electricidad RER a gran escala.....	44
<i>Figura 28</i> : Consumo Mundial de Energía a lo Largo de los Años.....	47

<i>Figura 29:</i> Producción Energética del Perú.....	48
<i>Figura 30:</i> Plano de Distribución de Áreas	50
<i>Figura 31:</i> Mapa de Localización del Proyecto	55
<i>Figura 32:</i> Vía de acceso al Pueblo de Arcata	56
<i>Figura 33:</i> Localización de la Planta de Energía Fotovoltaica.....	56
<i>Figura 34:</i> :Energía Solar Diaria en el Departamento de Arequipa	57
<i>Figura 35</i> Niveles de Radiación Solar kWh/m ² en Arcata	59
<i>Figura 36.</i> Diagrama Eléctrico de un Panel Solar	60
<i>Figura 37.</i> Diagrama de Flujo de Código en Matlab para las Curvas IV y PV	68
<i>Figura 38.</i> Perfiles Por Hora Promedio de Irradiación Normal Directa en Arcata	69
<i>Figura 39.</i> Curva IV para G=951 W/m ² y T=25°C	70
<i>Figura 40.</i> Curva PV para G=951 W/m ² y T=25°C	71
<i>Figura 41.</i> Curva IV para G=882 W/m ² y T=25°C	71
<i>Figura 42.</i> Curva PV para G=882 W/m ² y T=25°C	72
<i>Figura 43</i> .Curva IV para G=400 W/m ² y T=25°C	72
<i>Figura 44.</i> Curva PV para G=400 W/m ² y T=25°C	73
<i>Figura 45.</i> Curva IV para G=1000 W/m ² y T=20° C	75
<i>Figura 46.</i> Curva PV para G=1000 W/m ² y T=20°C	76
<i>Figura 47.</i> Curva IV para G=600 W/m ² y T= -1° C.....	76
<i>Figura 48.</i> Curva IV para G=600 W/m ² y T= -1° C.....	77
<i>Figura 49:</i> Características de la Celda Fotovoltaica.....	78
<i>Figura 50:</i> Curva Característica de I-V del panel Fotovoltaico Marca ERA	80
<i>Figura 51:</i> Diagrama de Conexiones del Arreglo de Paneles para Módulo A	83
<i>Figura 52:</i> Curva IV del Módulo A.....	84
<i>Figura 53:</i> Perdidas en el Sub Módulo A5.....	84
<i>Figura 54:</i> Gráfica de curva IV de Módulo A con Perdidas	85
<i>Figura 55:</i> Gráfica de Curva IV con G=400 y T=20 °C	86
<i>Figura 56:</i> Diagrama de Conexiones del Arreglo de Paneles para Módulo B	89
<i>Figura 57:</i> Diagrama de Conexiones del Arreglo de Paneles para Módulo C	91
<i>Figura 58:</i> Diagrama de Reguladores Conectados al Módulo A	96

<i>Figura 59:</i> Diagrama de Reguladores Conectados al Módulo C.....	97
<i>Figura 60:</i> Regulador de Voltaje Tristar MPPT.....	98
<i>Figura 61:</i> Banco de Baterías para Módulo A.....	101
<i>Figura 62:</i> Banco de Baterías para Módulo B.....	101
<i>Figura 63:</i> Banco de Baterías para Módulo C.....	103
<i>Figura 64:</i> Selección de Batería para la Planta Solar Fotovoltaica	104
<i>Figura 65:</i> Características del Medidor para el Alumbrado Público.....	108
<i>Figura 66:</i> Medidor de energía para alumbrado publico.....	109
<i>Figura 67:</i> Caja Metálica para Contador	110
<i>Figura 68:</i> Esquema de Conexiones Eléctricas	116
<i>Figura 69:</i> Diagrama Unifilar del Sistema	117
<i>Figura 70:</i> Caja de Protección para la Distribución de Equipos	119
<i>Figura 71:</i> Armario de Medida.....	119
<i>Figura 72:</i> Tablero de Distribución.....	120
<i>Figura 73:</i> Circuito de un Tablero de Distribución	120
<i>Figura 74:</i> Plano de Disposición de Paneles Solares	122
<i>Figura 75:</i> Diagrama Unifilar del Tablero General para Diversas Salidas	124
<i>Figura 76 :</i> Esquema de un Pozo de Puesta a Tierra.....	126
<i>Figura 77:</i> Esquema General de Red de Tierra.....	127
<i>Figura 78:</i> Punto de Entrega de Energía para los Usuarios Finales	129
<i>Figura 79:</i> Creación de Slot para Control de Variables.....	136
<i>Figura 80:</i> Emulador de Studio 5000 Logix Emulate	137
<i>Figura 81:</i> Pantalla Principal de Logix Emulate	138
<i>Figura 82:</i> Definición de las Variables de Entrada y Salida en Studio 5000	139
<i>Figura 83:</i> Programación en Ladder en Studio 5000.....	139
<i>Figura 84:</i> Sistema de Generación Fotovoltaica en Factory Talk View	140
<i>Figura 85:</i> Módulo de Generación A en Factory Talk View.....	141
<i>Figura 86:</i> Módulo de Generación B en Factory Talk View	142
<i>Figura 87:</i> Módulo de Generación C en Factory Talk View	142
<i>Figura 88 :</i> Potencia Generada en el Módulo A	143

<i>Figura 89:</i> Módulo de Carga "A"	145
<i>Figura 90:</i> Módulo de Carga "B"	146
<i>Figura 91:</i> Módulo de Carga "C"	147
<i>Figura 92 :</i> Diagrama Unifilar de Distribución.	148
<i>Figura 93:</i> Esquema de Conexión Solar Fotovoltaica con Regulador TS-MPPT 60.....	149
<i>Figura 94:</i> Hoja de Datos del Panel Solar Fotovoltaica ERA SOLAR.....	168
<i>Figura 95:</i> Distribución de la planta Layout	169
<i>Figura 96:</i> Conexión a Red Pública	170
<i>Figura 97:</i> Instalaciones Eléctricas	171
<i>Figura 98:</i> Instalación Pozo a Tierra.....	172



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Parámetros de Condiciones Estándar de un Panel Solar</i>	20
Tabla 2: <i>Factores de Perdidas</i>	35
Tabla 3: <i>Matriz Energética Mundial 2006</i>	46
Tabla 4: <i>Estimación de Consumo Mensual en el Municipio de Centro Poblado de Arcata</i>	49
Tabla 5: <i>Estimación de Consumo Mensual para las Áreas de la Planta Solar Fotovoltaica</i> ...	51
Tabla 6 <i>Estimación de Consumo Mensual en Arcata</i>	52
Tabla 7: <i>Consumo Eléctrico por Cada Familia en Arcata</i>	52
Tabla 8 : <i>Consumo Eléctrico de Alumbrado Público</i>	53
Tabla 9 : <i>Radiación Solar Promedio en Arequipa</i>	58
Tabla 10: <i>Niveles de Radiación Solar Promedio en Arcata</i>	58
Tabla 11: <i>Zonas de alta Radiación Solar en kWh/m2</i>	59
Tabla 12: <i>Especificaciones Técnicas del Módulo solar</i>	62
Tabla 13: <i>Datos de Panel Fotovoltaico</i>	63
Tabla 14: <i>Temperatura Máxima y Mínima en Arcata</i>	74
Tabla 15 : <i>Especificaciones técnicas del Módulo solar</i>	80
Tabla 16: <i>Producción mensual de energía para el mes de Enero en el módulo A</i>	87
Tabla 17: <i>Producción mensual de energía para el mes de Febrero en el módulo A</i>	88
Tabla 18: <i>Producción Mensual en el mes de Enero en el módulo B</i>	89
Tabla 19: <i>Producción Mensual en el mes de Febrero en el módulo B</i>	90
Tabla 20: <i>Voltaje, Corriente y Potencia de los Módulos Fotovoltaicas</i>	92
Tabla 21: <i>Producción Mensual en el mes de Enero en el módulo C</i>	92
Tabla 22: <i>Producción de Energía de la Planta solar Fotovoltaica</i>	93
Tabla 23 : <i>Especificaciones técnicas de regulador de voltaje</i>	97
Tabla 24 : <i>Características Eléctricas de la Batería</i>	103
Tabla 25: <i>Especificaciones Técnicas de Inversor para el Módulo A</i>	105
Tabla 26: <i>Especificaciones Técnicas de Inversor para el Módulo B</i>	106
Tabla 27: <i>Especificaciones Técnicas de Inversor para el Módulo C</i>	107
Tabla 28: <i>Determinación del tipo de cable en AWG</i>	113

Tabla 29: <i>Definición de Variables de Subrutina del Módulo A</i>	132
Tabla 30: <i>Definición de Variables de Subrutina del Módulo B</i>	133
Tabla 31: <i>Definición de Variables de Subrutina del Módulo C</i>	134
Tabla 32: <i>Definición de Variables de Subrutina para la Distribución de Energía</i>	135
Tabla 33: <i>Valores de la Potencia Generada Respecto al Tiempo</i>	144
Tabla 34: <i>Equipamiento de los Equipos a utilizar y sus Costos</i>	150
Tabla 35: <i>Costos de Producción Anual de Planta Solar Fotovoltaica</i>	156
Tabla 36: <i>Plan de Inversiones de la Planta Solar Fotovoltaica</i>	158



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Enunciado del problema

La matriz energética de nuestro país, muestra una participación minoritaria de las energías renovables, en el año 2008, las fuentes de energías renovables no convencionales (RER) constituían solo el 0.002 % del total de energía eléctrica producida en el país y en el año 2016 representaron el 4,7 %. (Vásquez, Tamayo, & Salvador, 2017).

Los efectos de esta situación son una elevada contaminación ambiental que ha puesto en peligro al planeta, la alteración del clima con cambios climáticos irreversibles y consecuencias muy graves para el planeta, costos energéticos relativamente altos en un contexto regional latinoamericano, tanto para el sector residencial, como para el sector productivo. Este último hecho resta competitividad a los sectores productivos de la región y el país.

Las energías limpias y renovables son opciones que se encuentran en la naturaleza misma y que se pueden y se usan ya en muchas partes del planeta y tienen como líderes a países como China, India y Estados Unidos, que cuentan con las plantas de mayor envergadura en el planeta.

Las condiciones climáticas que se dan en la ciudad y región de Arequipa, son muy ventajosas para el desarrollo de las tecnologías solares y para la creación y abastecimiento de energías limpias en la Región. Esto quiere decir que el no aprovechamiento de este tipo de energía solar, en esta zona, así como en otras zonas donde la radiación es altamente fuerte, se considera un problema, ya que si bien es cierto algunas de estas zonas poseen energía eléctrica convencional, pero a su vez por sus características territoriales y demográficas el acceso al

sistema interconectado nacional no es económicamente factible en el mediano plazo para las comunidades rurales en el país.

Es por ello que nuestro tema de investigación se desarrolla en el centro poblado de Arcata que posee un alto índice de radiación, por otro lado, como objeto de análisis proponemos el estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en un terreno de 5 Ha, con una capacidad de 51.7 MW al año, de los cuales 22 MW serán entregados a la población, mientras la producción restante (30 MW aproximadamente) de energía eléctrica será integrada a la planta o interconexión de red interna, municipalidad y alumbrado público, en conformidad con el Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables del Perú (Decreto Supremo N° 024-2013-EM).

Ante esta situación, los costos de producción de energía fotovoltaica resultan bastante competitivos, debido al alto potencial fotovoltaico y al tamaño de planta. Se estima un costo de producción por debajo de 0.2 \$ /kWh, (frente a un 0.22 U\$ de las energías convencionales). Este es un hecho atractivo del presente proyecto. Además, está el hecho, de que ésta es una energía limpia y que contribuye a mejorar los índices medioambientales de la zona y la región. (Venegas, 2016).

Por lo antes expuesto, resulta necesario analizar y reflexionar sobre la posibilidad de desarrollar "Un Parque de Generación de Energía Fotovoltaica, en el centro poblado de Arcata - Distrito de Cayarani, Provincia de Condesuyos - Arequipa", realizando un estudio técnico-económico para la implementación de un parque, tema que lo proponemos como tema de Tesis en el área de Energía y Comunicaciones.

1.2 Interrogantes investigativas

La búsqueda de las relaciones existentes entre el análisis o estudio de factibilidad técnico-económico que califiquen positivamente dentro de una evaluación técnica económica social y ambiental, requiere de dar respuestas a una serie de interrogantes, tales como:

1.2.1. Interrogante principal

¿Es viable, técnica, social y ambiental la instalación de una Planta de Energía fotovoltaica en la zona de Arcata - Arequipa?

1.2.2. Interrogantes secundarias

- ¿Existen las condiciones de infraestructura básica y tecnológica, para instalar un Sistema de energía fotovoltaica en la zona de Arcata - Arequipa?
- ¿Existe un marco técnico y legal adecuado para la generación de energía con fuentes de energía renovable?
- ¿Existen las tecnologías de paneles fotovoltaicos, apropiadas para la generación de energía fotovoltaica?

1.3 Justificación

1.3.1. Académico

Desde un punto de vista académico, se cumple con una normativa institucional, que es la presentación de un trabajo de investigación incrementando de esta forma, el acervo de conocimientos de la universidad en el área de proyectos electrónicos y eléctricos.

1.3.2. Personal

Alcanzar un objetivo personal, que es la culminación de una fase de estudios y el logro de una profesionalización.

1.3.3. Trascendencia

El tema es trascendental, pues se refiere a un sector considerado como estratégico y de muy alta sensibilidad que es el energético y que como ya se ha mencionado, muestra una matriz con alto sesgo hacia el tema de contaminación del medio ambiente en el país. A nivel mundial la participación de las energías no renovables alcanza una participación del orden de 13.3% y en Perú de solo 2-3 %, lo que demostraría un serio retraso en este campo según informaciones que provienen del MINEM y el CEPLAN que se muestran en la Figura 1. (Consultores, 2015)

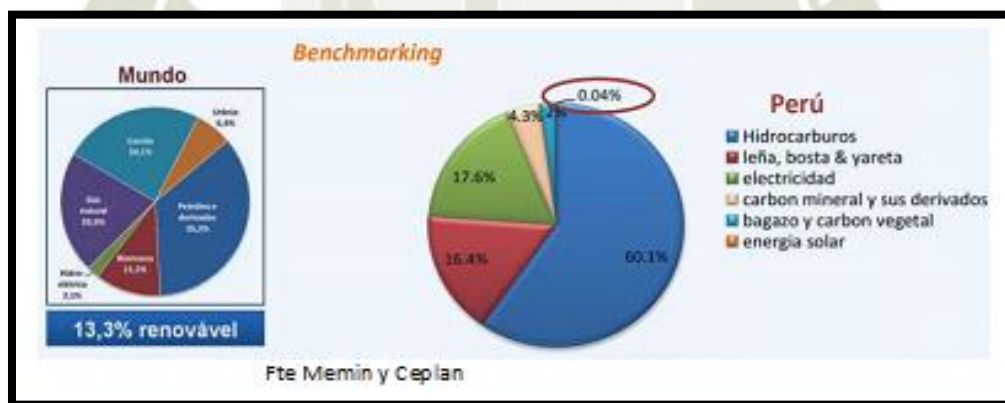


Figura 1 : La Producción Mundial de Energía Fotovoltaica
Fuente: <https://www.minem.gob.pe>

Resolver este tema significa ponerse a tono con las tendencias mundiales y lograr energías limpias, energía de bajo costo, lo cual contribuye a mejorar los niveles de desarrollo económico y social del país. Por las razones expuestas, el presente proyecto se justifica plenamente.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar el marco técnico, económico y legal para la generación de energía con fuentes de energía renovable.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseño de una planta solar fotovoltaica de 51.7 MW en el centro poblado de Arcata - Arequipa.
- Conocer y analizar las tecnologías de paneles fotovoltaicos, inversores, transformadores y dispositivos para el desarrollo y dimensionamiento del proyecto.
- Analizar y determinar la existencia de condiciones favorables físicas y medioambientales en la zona de Arcata para la instalación de paneles fotovoltaicos.
- Diseñar un sistema SCADA, validado a través de simulación
- Estudio Económico y de recuperación de la inversión

1.5 Limitaciones de la investigación

1.5.1. Limitación de campo

La limitación del estudio presente se basa en un estudio de pre factibilidad donde se describe la localización del proyecto, análisis de la legislación vigente aplicable al proyecto como normas técnicas y ambientales, así como la evaluación financiera privada del proyecto y el financiamiento que determine su sostenibilidad operativa. En la parte de diseño de la planta, se

hará el mayor énfasis en la etapa de generación de la energía eléctrica. Para la etapa de distribución se hará mención de las cargas finales y su respectivo consumo, no se considera la interconexión a la red pública.

1.5.2. Limitación documental

Las limitaciones para llevar adelante el presente proyecto de investigación, están dadas por dos factores: un factor económico y un factor de procesamiento de información. El factor económico requiere de un presupuesto económico que requiere de un esfuerzo personal y será asumido por mi persona. Factor de obtención de la información a través de observación documental, indagación de datos similares, revistas, publicaciones y noticias de la actualidad, será asumido también por el suscrito.

1.6 Análisis de variables

En el proceso de investigación las variables, entendidas como los aspectos o características cuantitativas o cualitativas que son objeto de búsqueda o investigación, reúnen dos características fundamentales: rasgos que permitan ser observados directa o indirectamente y por lo tanto, permitir algún tipo de confrontación con la realidad empírica y por otro lado tienen la propiedad de poder variar y ser medibles. Para este caso, tenemos dos aspectos que son objeto de búsqueda o investigación, las cuales se definen como las variables, se tiene :

- Variable 01. La captación apropiada de radiación solar en la zona de Arcata.
- Variable 02. Su aplicación para la instalación de una planta de energía fotovoltaica en la zona de Arcata.

Tomando en cuenta que el presente proyecto, está orientado a investigar las posibilidades de desarrollar aspectos económicos y sociales positivos para la zona, se considera que existe una

relación causal entre las variables consideradas, estas se relacionan a través de una hipótesis de trabajo. Por lo tanto, estamos ante dos tipos de variables.

Variable Dependiente: son las variables a explicar los efectos o resultados respecto de los cuales hay que buscar su motivo o razón de ser, siendo para este caso: instalación de una planta de energía fotovoltaica en la zona de Arcata.

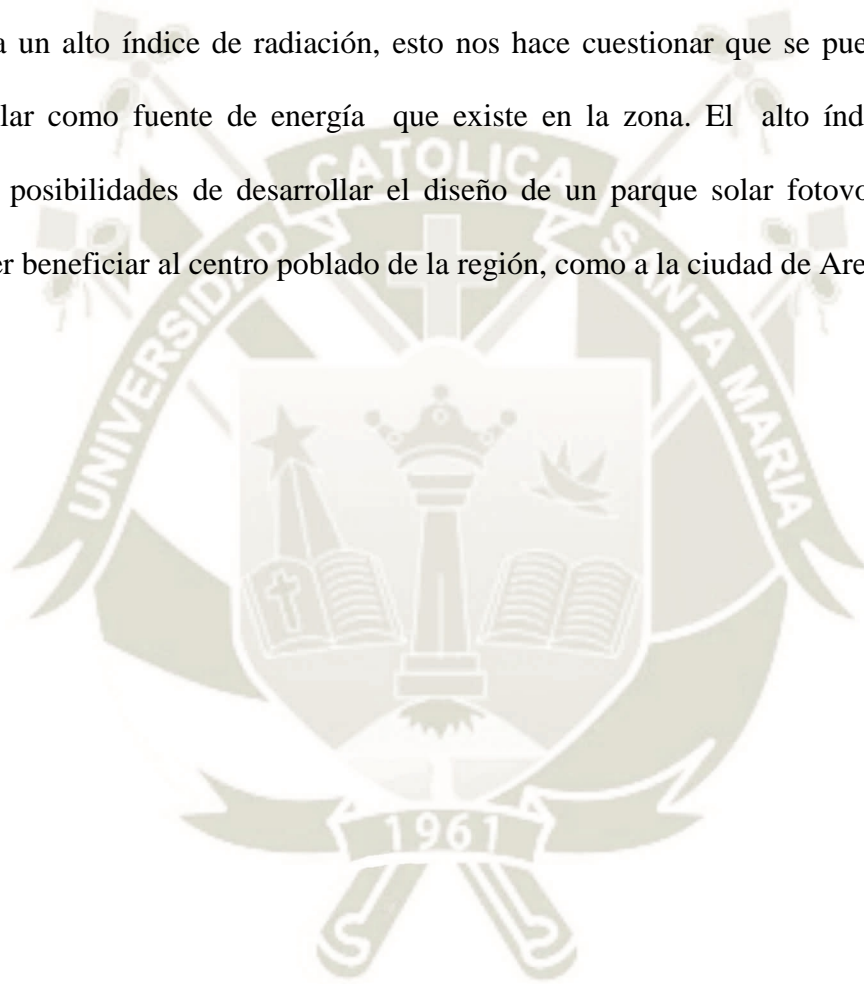
Variable Independiente: son las variables explicativas cuya asociación o influencia con la variable dependiente se pretende descubrir en la investigación que para nuestro caso es: la captación apropiada de radiación solar en la zona de Arcata.

Por último es necesario definir operacionalmente a una variable. La definición operacional de una variable es el proceso a través del cual se establecen los procedimientos empíricos que permitan la obtención de los datos de la realidad para probar la hipótesis y ello incluye: determinación de los indicadores que permitan medir la variable y definir las técnicas e instrumentos que permitan obtener la información sobre las variables o indicadores. En este caso, se tiene:

- Para la variable independiente, el indicador será la radiación solar generada en la zona y la medición se hará mediante el cálculo de índices de radiación solar en la zona (Arcata).
- Para la variable dependiente, los indicadores serán los indicadores de rentabilidad técnica y económica del proyecto y el cálculo se hará mediante índices de rentabilidad económica (TIR y VAN) e índices de rendimiento técnico. En otras palabras, podríamos afirmar que la rentabilidad de la planta fotovoltaica dependerá de los niveles de radiación solar de la zona (a mayor radiación, mayor rentabilidad y viceversa).

1.7 Planteamiento de la hipótesis

El departamento de Arequipa y sus provincias tienen la mayor radiación solar a nivel mundial, según diversas fuentes, el estudio se realizó en Arcata-distrito de Cayarani-provincia de Condesuyos, una zona donde la radiación solar es de aproximadamente 7.1 kWh/m^2 , un valor que significa un alto índice de radiación, esto nos hace cuestionar que se puede aprovechar la radiación solar como fuente de energía que existe en la zona. El alto índice de radiación, aumenta las posibilidades de desarrollar el diseño de un parque solar fotovoltaico, y de esta manera poder beneficiar al centro poblado de la región, como a la ciudad de Arequipa.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Previos

En la investigación previa, se han detectado los siguientes antecedentes de investigación relacionados con el presente tema.

2.1.1. Antecedente 01 estudios - tesis

Este antecedente de investigación tiene como título: "Proyecto de Pre factibilidad para la Implementación de Energía Solar fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa". Los autores son: Vásquez Chigne, Laura Carolina de Fátima, Zúñiga Anticona Bibi Malú. Asesor de Tesis: Grimaldo Quispe Santibáñez., y su patrocinador UCA (Universidad Ciencias Aplicadas) Lima, Perú 2015.

La presente tesis realizó el estudio de pre factibilidad para la implementación de energía térmica y fotovoltaica en el campamento minero Comihuasa de la mina Caudalosa, ubicado en el departamento de Huancavelica. El proyecto propone satisfacer la demanda del campamento mediante el uso de energía solar, con la finalidad de lograr un ahorro económico con respecto al gasto mensual por kWh consumido, además de contribuir con los impactos causados al medio ambiente y diversificar la matriz energética de la minera. (Vásquez L. y., 2015)

2.1.2. Antecedente 02 plantas instaladas

En los tres últimos años se han implementado varias mega plantas de energía fotovoltaica que cambiará sustantivamente la matriz energética. Las dos plantas más grandes del planeta suman casi 2 TW (casi un 11% de la planta total instalada), con lo que se alterará

significativamente la matriz energética mundial. Estas están situadas en la India y en la China. En nuestro país recientemente se instaló una planta de energía fotovoltaica en la región de Moquegua, a continuación se da una breve descripción de las plantas de China y de Moquegua.

a) Planta de energía fotovoltaica de Rubí 180 MW en el Perú

El 20 de marzo de 2018, la empresa internacional Enel Green Power inició operaciones en esta planta solar fotovoltaica, ubicada en Moquegua, es considerada la más grande del Perú y la primera planta de energía en el Perú, así de esta manera se contribuye a la generación, producción de las fuentes de este tipo que tiene un porcentaje aproximado del 12 % .

En la construcción de esta planta se invirtió cerca de 170 millones de dólares, y tiene un contrato de suministro eléctrico de 20 años con el MINEM (Ministerio de Energía y Minas del Perú), y cuando esté totalmente en operación generará aproximadamente 440 GWh al año, de esta manera las comunidades locales se beneficiarían. Enel Green Power está dedicada al desarrollo y operación de energías renovables en todo el mundo, en la Figura 2 se puede apreciar la planta de Rubí. (Enel, 2018).



Figura 2: Planta de Energía Fotovoltaica de Rubí de 180 MW
Fuente: <https://www.enel.pe/>

b) Mega planta de Energía fotovoltaica de 1,280 MW en China. Longyangxia hydro - solar pv station 850 MW.

La planta solar de "Longyangxia", ubicada en la provincia china de Qinghai, tiene la denominación de ser la planta más grande de tecnología mixta hidrosolar del mundo, fue diseñada y construida íntegramente por Power china, y conectada a la red eléctrica del coloso oriental hace pocos meses. La central hidroeléctrica cuenta con una capacidad de 1.280 MW de potencia. El proyecto comenzó el 25 de marzo de 2013, en el parque industrial de "Gonghe", en un área de 9,16 kilómetros cuadrados, el proyecto es el de mayor inversión en tecnología hidrosolar fotovoltaica y se espera que suministre 483 GWh anuales a la red eléctrica china.



Figura 3: Planta Longyangxia Hydro-solar PV Station.

Fuente. www.energiailimpiaparatodos.com/

En el año 2015 en el mes de diciembre se completó la segunda etapa de 530 MW de potencia, añadidos a los 320 MW de la primera etapa, dan un resultado de 850 MW que convierten a "Longyangxia", la coloca en la posición dos de las mayores plantas de energía solar en el mundo. (thermokold, 2019).

2.2 Energías renovables

Las energías limpias o renovables son básicamente tres: solar, eólica y de biomasa. La solar, aprovecha el recurso solar y lo transforma en energía térmica y eléctrica a través de los sistemas fotovoltaicos. La eólica, aprovecha el recurso del viento y lo transforma en energía básicamente eléctrica y la de biomasa, aprovecha el recurso orgánico, y mediante procesos naturales de fermentación la transforma en energía térmica y eléctrica.

2.2.1. Energía solar

La energía solar es un tipo de energía que utiliza el sol en su beneficio. Se puede cosechar para calentar casas, generar energía, encender luces y realizar otras tareas. Más seguro, más barato y sostenible, ha ganado popularidad en los últimos años. Sin embargo, su potencial ni siquiera está cerca de ser alcanzado.

Según National Geographic, “El sol emite suficiente energía cada hora para satisfacer las necesidades energéticas mundiales durante todo un año. Pero, desafortunadamente, este tipo de energía no se aprovecha lo suficiente: se usa por menos de un décimo del uno por ciento de las necesidades de energía del mundo”. (Pascual, 2020)

Sin embargo, incluso con estos números terribles, el uso de la energía solar está en aumento. En los últimos quince años, su uso ha aumentado en un 20 por ciento. Esto se debe principalmente a que la energía solar se vuelve más asequible y más eficiente. El esquema básico es el que se muestra en la Figura 4.

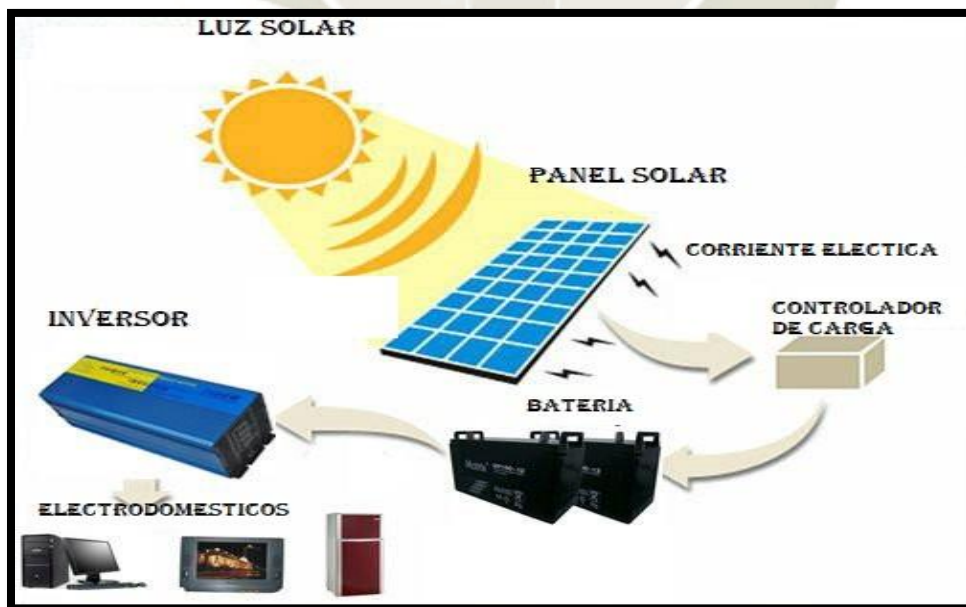


Figura 4: Esquema Base de una Planta Solar

Fuente: www.solargain.com.au/solar-panels

2.2.2. Maneras de usar la energía solar

Según la asociación de industrias de energía solar, hay una variedad de formas en que se puede cosechar energía solar. Algunas de las formas más comunes incluyen: (Resch, 2006)

- a) **Dispositivos fotovoltaicos (PV):** Los dispositivos PV (módulos fotovoltaicos) usan un tipo especial de material (llamados semiconductores) para generar luz solar directamente. El funcionamiento de los semiconductores se da cuando la energía solar libera electrones que luego viajan a través de una corriente eléctrica. Esta energía puede usarse para alimentar cualquier cosa eléctrica, desde calculadoras y bombillas hasta computadoras de negocios comerciales.
- b) **Calefacción y refrigeración solar (SHC):** Las tecnologías SHC (calefacción y refrigeración solar) recogen energía térmica del sol y la usan para calentar agua caliente y piscinas, y para calentar y enfriar espacios. Esta forma alternativa de energía puede reemplazar tanto la electricidad como el gas natural.
- c) **Concentrando la energía solar (CSP):** Este tipo de energía es común en las plantas de energía: crea temperaturas lo suficientemente altas como para maniobrar las turbinas de vapor y los motores, que luego crean electricidad. Actualmente, más de 520 megavatios de plantas de CSP (concentrado de energía solar) están en operación en los EE.UU., y miles más están en desarrollo.
- d) **Energía solar pasiva:** Si bien lo anterior son ejemplos de sistemas de energía solar activa, la energía pasiva es un tipo que toma el calor del sol (o luz) y lo convierte en otra forma de energía utilizable. Los edificios que usan energía pasiva están diseñados para recolectar,

almacenar y distribuir esta energía térmica en un intento por mantener el nivel de confort de los residentes del edificio sin usar componentes electrónicos.

2.3 Energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la fuente energética renovable que produce electricidad, se produce por medio de la radiación solar y un dispositivo semiconductor llamado célula o celda solar fotovoltaica.

El uso principal de esta energía es generar electricidad a gran nivel a través de redes de distribución, permite alimentar innumerables aplicaciones, aparatos autónomos, puede abastecer refugios de montaña o viviendas aisladas en zonas alejadas donde la energía eléctrica no es muy accesible. Gracias a la creciente demanda de este tipo de energías, la fabricación y elaboración de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha crecido considerablemente en los últimos años. En el año 2000, medioambientalistas alemanes y la organización "Euro solar" obtuvieron el financiamiento necesario para la elaboración de diez millones de tejados solares, en la Figura 5 se aprecia las celdas fotovoltaicas urbanas. (Palz, 2013)



Figura 5: Celdas Fotovoltaicas Urbanas

Fuente: www.solargain.com.au/solar

2.3.1. Componentes del sistema de energía fotovoltaica

a) Panel solar fotovoltaico

Es el dispositivo básico que genera energía eléctrica cuando es expuesto a la luz solar, sus características constructivas varían según el número de células que lo conforman, por ejemplo los módulos de 60 células poli cristalinas pertenecen a la gama de los módulos de alta potencia, esto permite que la instalación de conexión a red sea más sencilla. El uso de módulos solares fotovoltaicos son ideales para cualquier sistema o aplicación que utilice la energía solar convertida a energía eléctrica como fuente de energía limpia ya sea de forma primaria o secundaria, debido a la baja contaminación frente a otras energías convencionales ya conocidas (Figura 6).

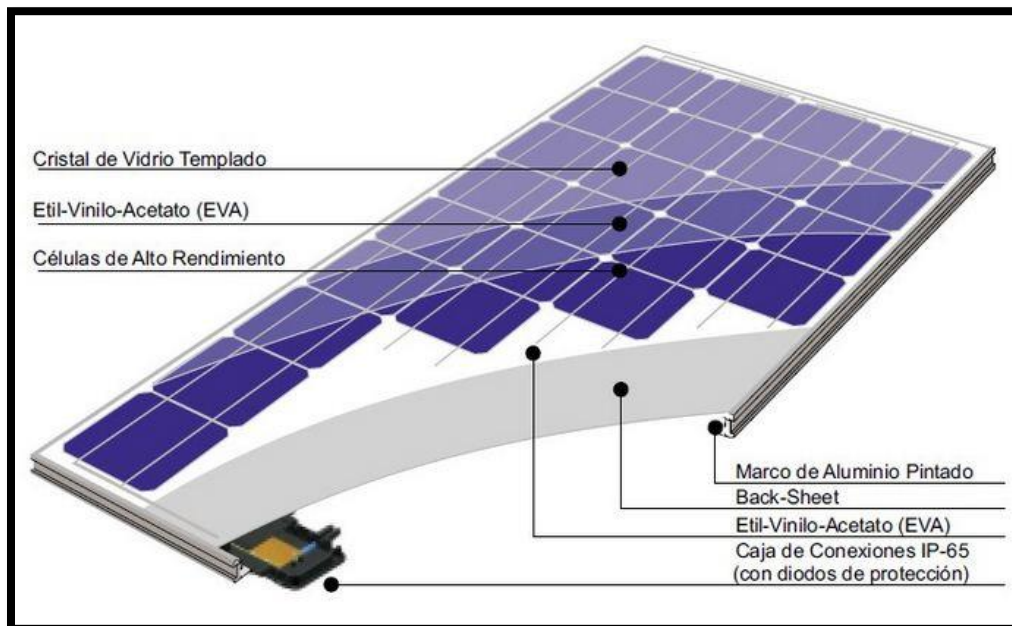


Figura 6: Características Constructivas de una Panel Fotovoltaico
Fuente: www.olargain.com.au/solar

Los módulos o celdas solares está formado por un cristal con alto nivel de transmisividad, durante su fabricación. EVA (etil-viniloacetato modificado) es un elemento imprescindible ya que es uno de los mejores encapsulantes que se utiliza, la lámina posterior está formada de varias capas, donde cada capa tiene una función específica: adhesión, aislamiento eléctrico, o aislamiento frente a las inclemencias meteorológicas, el contorno está fabricado con aluminio, además de que cuenta con una capa externa de pintura que le ofrece mayor resistencia.

Los módulos generalmente van provistos de cables asimétricos en longitud, con un diámetro de sección de cobre de 4 mm (cable Cu), y con una bajísima resistencia de contacto, con el único fin conseguir las mínimas pérdidas por caídas de tensión. Por lo tanto cumplen con todos los requerimientos Clase II TÜV, tanto de flexibilidad, como de doble aislamiento, o alta resistencia a los rayos UV, es decir son la clase de cables idóneos para su uso en aplicaciones de intemperie.

Al recibir la radiación solar, el panel solar fotovoltaico produce una energía esta se puede representar por la curva I-V (corriente /voltaje) como en la Figura 7. Cuando al generador fotovoltaico se le conecta una carga, circulará una corriente I_{sc} , y cuando la celda no está conectada se tiene un voltaje en circuito abierto V_{oc} , para el aumento en el voltaje desde 0 hasta la V_{oc} , la corriente es casi constante hasta un voltaje máximo V_{max} y allí desciende rápidamente, mientras la potencia se puede calcular en cualquier punto, la máxima potencia se da cuando la curva I-V es máxima, el punto máximo de potencia se conoce como MPP, en la Figura 8 se muestra el punto de máxima potencia. (Eliseo, 2019)

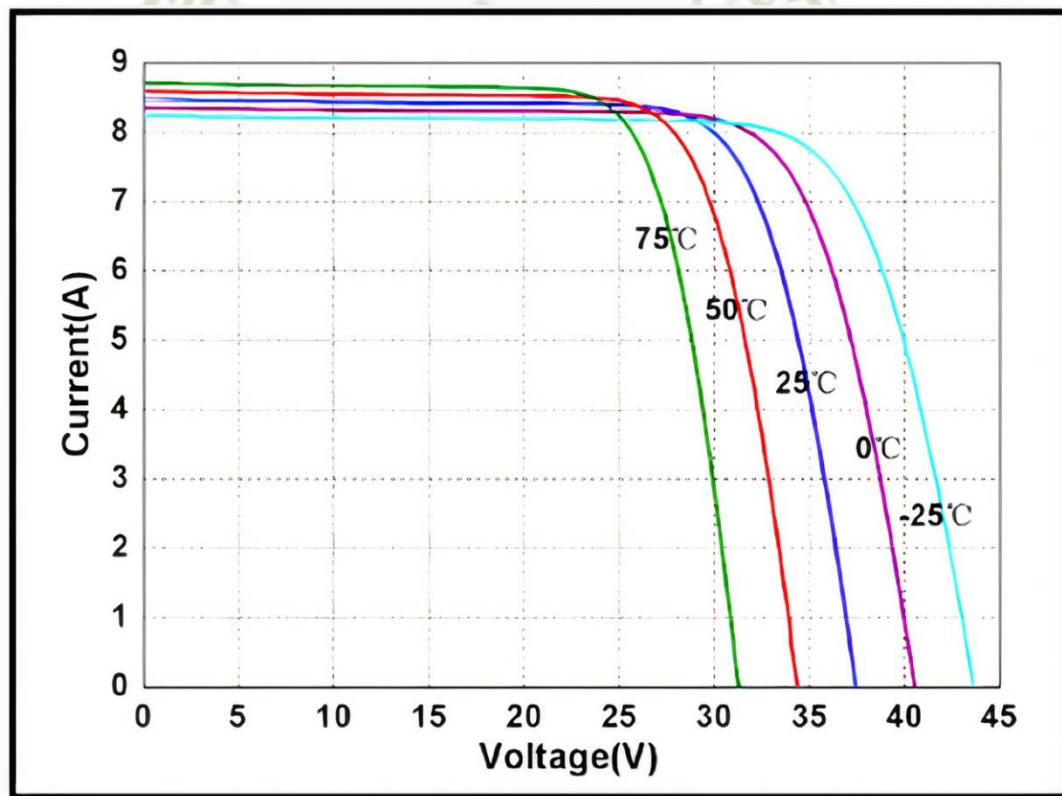


Figura 7: Curvas Características del Módulo Fotovoltaico a Diferentes Temperaturas
Fuente: <https://tecnosolab.com>

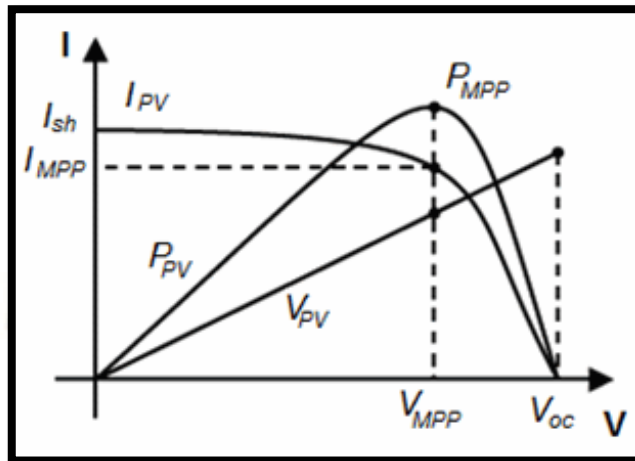


Figura 8 : Curva de Potencia Para un Panel Solar Fotovoltaica
Fuente: Ruiz C. Luis J. (2010)

b) Tecnología de paneles solares

Como se ha mencionado anteriormente los módulos fotovoltaicos, están formado por celdas fotovoltaicas que produce electricidad a partir de la luz o radiación solar que incide sobre ellos, luego el conjunto de los paneles solares forman el arreglo sistema solar fotovoltaico. Para medir la eficiencia de una panel solar, se tiene que tener en cuenta al menos las condiciones estándares de medida universal, que generalmente son:

- radiación de 1000 W/m^2
- temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$

En estas condiciones se miden al menos la potencia máxima que puede entregar el módulo, la corriente de corto circuito, la tensión a circuito abierto y el factor de forma, con esto ya es suficiente para conocer el comportamiento de cualquier panel en funcionamiento, en la Tabla 1, se aprecia los parámetros estándar de un panel solar.

Tabla 1:
Parámetros de Condiciones Estándar de un Panel Solar

Tecnología	Eficiencia %	Área cm²	Vca (v)	Icc (A)	Factor de forma
Si (monocrystalino)	21.6	862	32.6	0.703	81.3
Si (policristalino)	15.3	1017	14.6	1.36	78.6
Si/SiGe	10.2	903	2.32	6.47	61.2

Fuente: Elaboración Propia

Si bien es cierto el proceso de fabricación de las células de tipo monocrystalino son un poco más costosas, la eficiencia respecto a las demás tecnologías es resaltante, y ese porcentaje no solo habla de la ganancia única en potencia absoluta, sino además de la captación de energía de la célula sensiblemente superior frente a las células ordinarias y policristalinas, en conclusión el tipo de panel solar fotovoltaico será la de tecnología monocrystalina. (Gasca Cruz, 2012)

c) Inversor

El inversor trifásico es el equipo encargado de transformar la energía recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarlas a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, usualmente en corriente alterna (AC). Se caracteriza principalmente por la tensión de entrada que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede

proporcionar y la eficiencia. Los aspectos importantes que deben cumplir el inversor es lo siguiente:

- Tener una eficiencia alta, caso contrario se tendrá que aumentar de manera innecesaria el número de paneles para alimentar la carga.
- Cumplir con los requisitos que establece el reglamento de baja tensión: baja distorsión armónica, bajo consumo, aislamiento galvánico, sistema de medidas y monitorización.

d) Tecnología de los inversores

El Inversor consta de un oscilador que controla a un transistor, y se utiliza para la interrupción de la corriente entrante y poder generar una onda cuadrada. Luego esta onda cuadrada ingresa a un transformador que mejora su forma para que tenga la forma de una onda senoidal y produzca la tensión de salida necesaria, por lo que las formas de salida de tensión del inversor ideal deben ser senoidal, en la Figura 9, se aprecia las diferentes formas de onda alterna en un inversor. (Inversores, 2007).

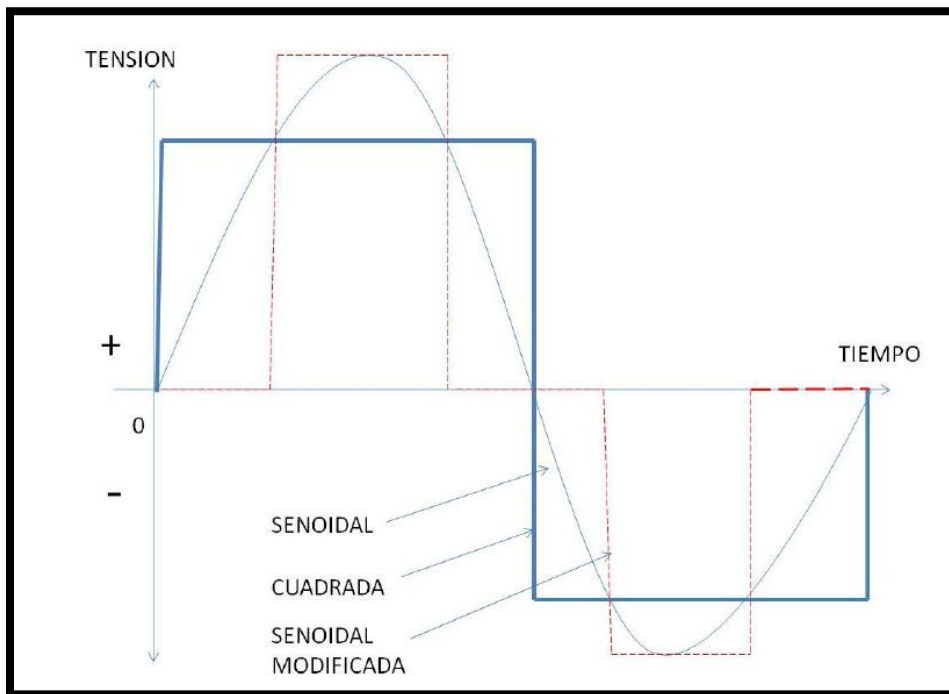


Figura 9: Formas Diferentes de Onda en Corriente Alterna
Fuente: www.megavatios.com.ar/inversores-cc-ca-aptos-para-sistemas-fotovoltaicos/

- **Inversores de onda cuadrada:** cuando la corriente continua pasa a través de un transformador, el dispositivo de conmutación cambia la dirección de la corriente con rapidez, la corriente que pasa a través de la cara primaria del transformador, hace que la polaridad cambie 120 veces por segundo y la corriente que sale de la cara secundaria del transformador se va alternando, en una frecuencia de 60 ciclos por segundo, es decir la dirección del flujo de corriente a través de la cara primaria del transformador se cambia muy bruscamente, de manera que la forma de la onda del secundario es cuadrada. Este tipo de inversores por lo general son más baratos, pero también son los menos eficientes, produciendo demasiados armónicos e interferencias.

- **Inversores de onda senoidal modificada:** utilizan técnicas de modulación de ancho de impulso, el ancho de la onda es modificada para que se parezca más a una onda senoidal, la presencia de los armónicos es menor respecto a la anterior, y tienen una mejor relación de calidad/ precio para la conexión de iluminación, televisión, etc.
 - **Inversores de onda senoidal:** este tipo de inversores, tienen la tecnología más elaborada, gracias a su electrónica se puede conseguir una onda senoidal más pura, la incorporación de microprocesadores permite que los inversores cuenten con servicios como telecontrol, conteo de energía consumida, selección de batería, etc., sin embargo su costo es mayor que los otros tipos de inversores.
- e) **Tecnología de inversores para instalaciones conectadas a red**
- **Inversor centralizado:** esto quiere decir que un único inversor controla toda la instalación, donde todos los arreglos de módulos conectados en serie están agrupados en una conexión en paralelo, este tipo de conexión hace que las inversiones económicas sean limitadas y costos de mantenimiento bajos, pero con el detalle de que puede presentar limitación del aprovechamiento óptimo de energía en el arreglo por sombras que se pueden presentar, esto se muestra en la Figura 10. (Tecnología de los inversores para instalaciones conectadas a la red, 2008)

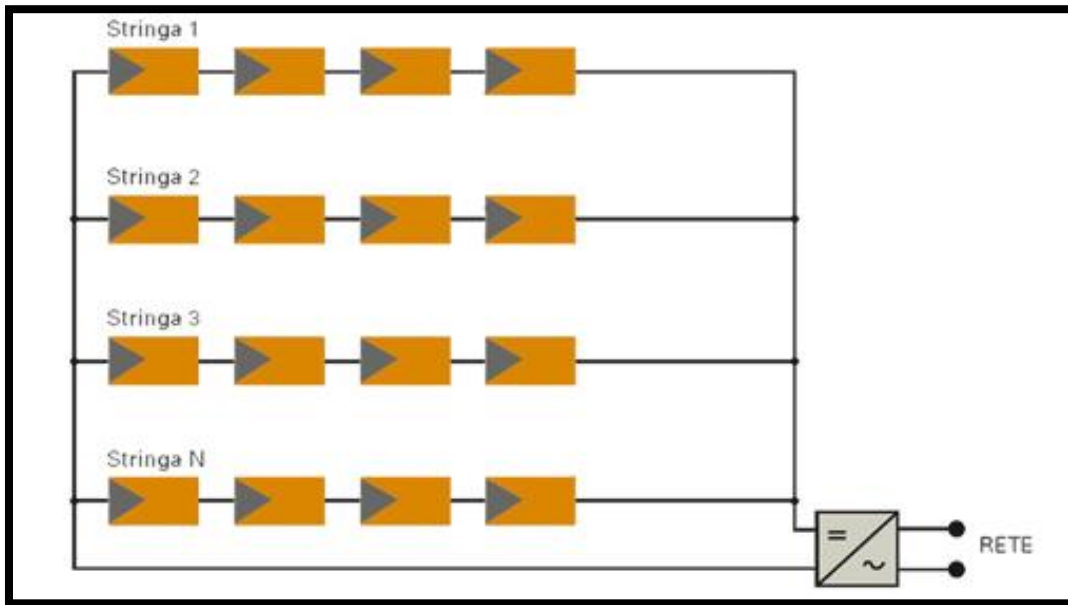


Figura 10.: Inversor centralizado

Fuente: www.aros-solar.com/

- **Inversor de cadena:** cada arreglo o grupo de módulos, presenta su propio inversor de manera independiente, con esta configuración se obtienen mayores rendimientos respecto a los inversores centralizados, reduciendo las pérdidas frente a posibles sombras, esta es la instalación apropiada para campos solares con diferentes condiciones de radiación, este es el tipo de tipología de instalación que se tomara para el desarrollo de la planta solar fotovoltaica, esto se muestra en la Figura 11.

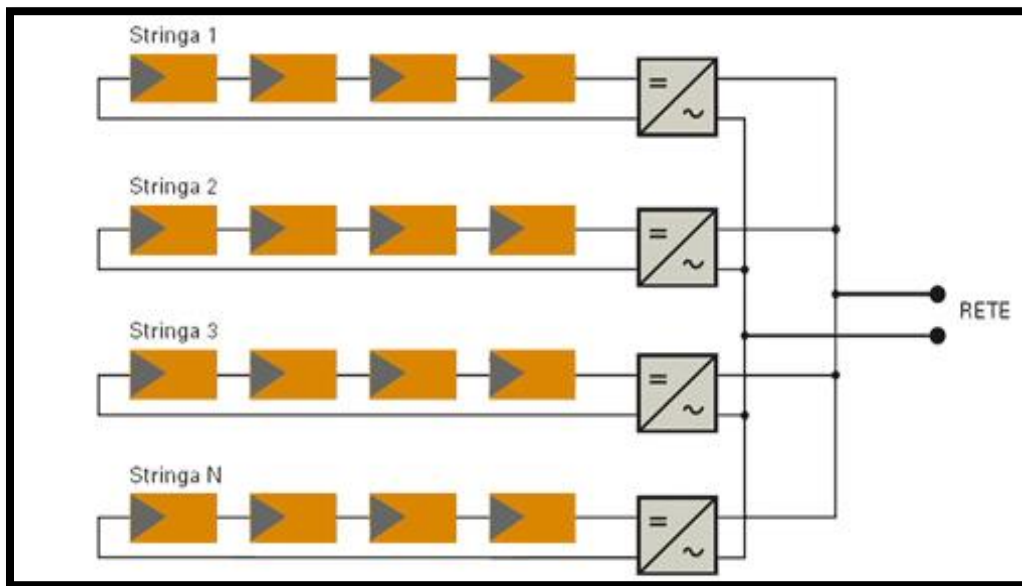


Figura 11: Inversor en Cadena

Fuente: www.aros-solar.com/

f) Estructura de soporte para el módulo

La estructura es uno de los elementos más importantes ya que en toda instalación fotovoltaica se debe de tener el máximo aprovechamiento de la radiación solar, además de dar la inclinación apropiada a los módulos solares y de esta manera optimizar el rendimiento energético. La construcción de estas estructuras generalmente contienen perfiles de acero galvanizado en caliente con esto cumplen las normas técnicas establecidas. La estructura deberá tener una inclinación óptima de 30° , respecto de la línea solar, lo que permite maximizar su producción anual y será fijada a las cimentaciones, mediante pernos químicos introducidos en los taladros correspondientes.

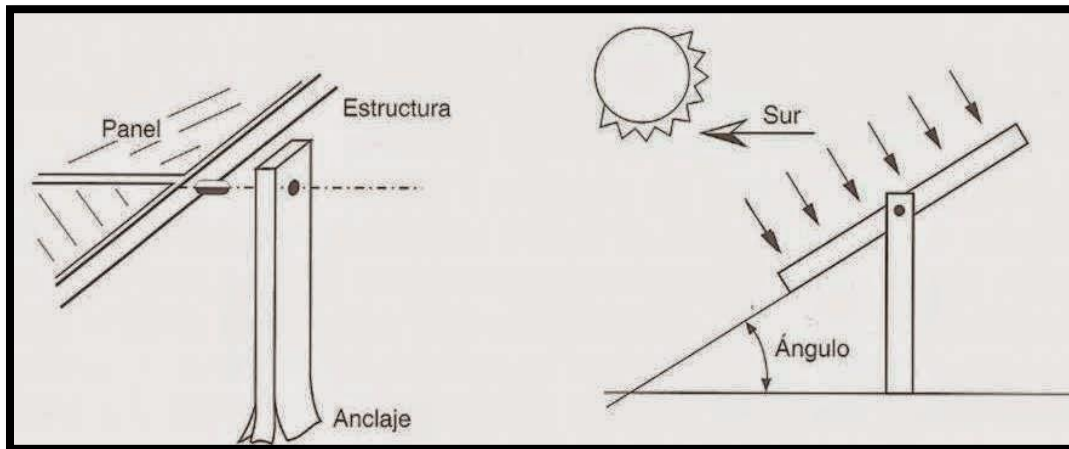


Figura 12 .Estructura de Soporte para los Módulos

Fuente: www.aros-solar.com

- **Estructura fija:** suelen estar ubicadas en el suelo y deben estar dispuestas para garantizar el máximo aprovechamiento de los rayos solares, donde se clasifican como estructuras de soporte tipo A, V y S, donde se pueden instalar y soportar 2, 3, 4 y 5 módulos respectivamente.
- **Estructura fija con cambio de posición:** permite cambiar el ángulo de inclinación en dos o más posiciones de manera manual o automática, según la estación del año, tiene una mayor ventaja frente a las estructuras fijas, ya que aprovecha la energía solar en mayor escala, estas estructuras pueden estar compuestas con seguidores solares, es decir: sensores, motores y controles que permiten seguir la trayectoria del sol, donde los módulos se mantienen de manera perpendicular a los rayos solares.

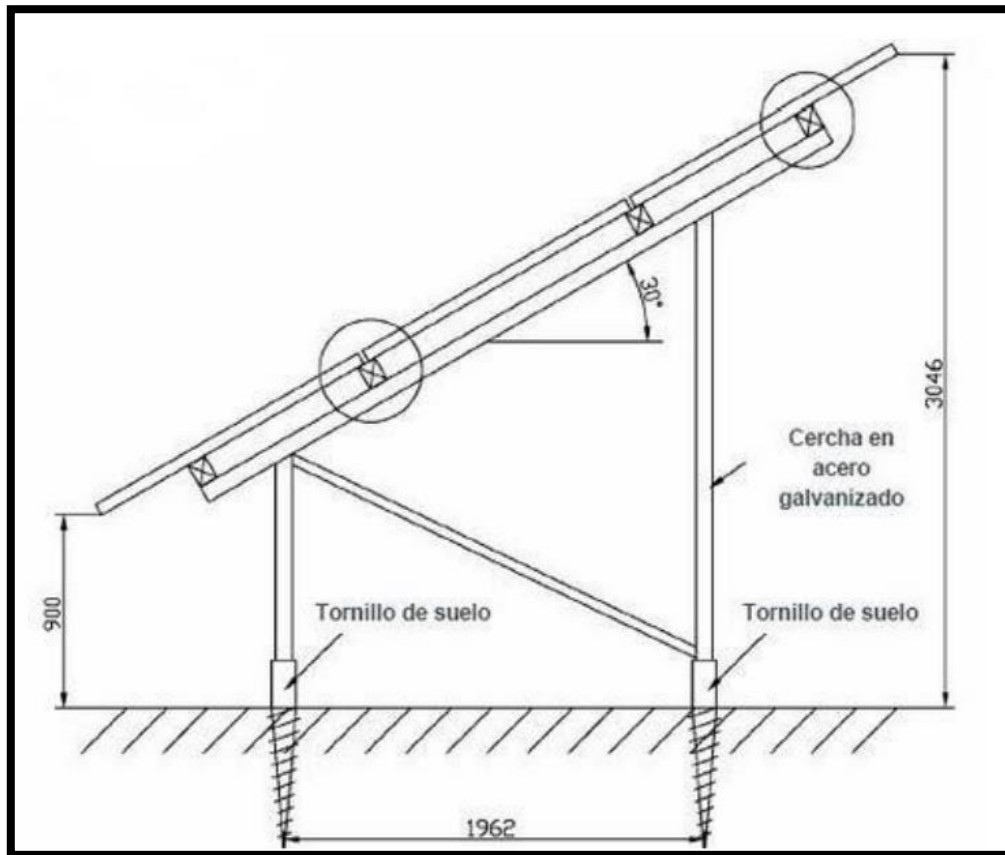


Figura 13: Esquema de Estructura del Panel con una Inclinación
Fuente: <http://opex-energy.com/fotovoltaica/estructura%20modulos.JPG>

Las normas de acero galvanizado UNE 37-501 y UNE 37-508, son las normas con las que se construyen las estructuras de soporte, y están hechas a base de acero galvanizado en caliente, además de poseer un espesor mínimo de revestimiento de 80 micras, de esta manera tienen una protección completa y una mayor durabilidad frente a las inclemencias de la naturaleza, por lo general la estructura cuenta con un ángulo de inclinación de 30° , permitiendo maximizar la producción anual. (Servo Fluid s.l, 2006)

2.3.2. Beneficios de la instalación fotovoltaica

- a) Respeto el medio ambiente al no emitir dióxido de carbono.
- b) Ahorro parcial o total de su factura de luz hasta un máximo de 30 años.
- c) Recupera la inversión en un tiempo máximo de 6 años.
- d) Bajo costo de mantenimiento.
- e) Los Decretos Ley 1002 y 1058 establecen una depreciación acelerada de hasta un 20 % para proyectos con energías renovables, lo cual impacta en menores cuotas por impuestos a la renta. Asimismo, dichos dispositivos legales, le otorgan un tratamiento especial en la subasta de energías, al asignarle una tarifa que garantice su rentabilidad de mercado.
- f) Puede instalarse en un sitio donde no haya servicio de electricidad.
- g) Genera puestos de trabajo para la población en la fase de construcción civil y mantenimiento de la planta, y aumenta el nivel sociocultural respecto al desarrollo e implementación de nuevas tecnologías.

2.3.3. Esquemas de instalación fotovoltaica

Las diversas topologías para una instalación fotovoltaica, se presentan a continuación:

- a) **Instalación conectada a red:** este tipo de instalaciones se encuentra permanentemente conectado a la red eléctrica, de tal forma que, en periodos de irradiación solar, sea el sistema fotovoltaico quien entregue energía, mientras que en periodos de radiación limitada o nula, sea la red eléctrica quien entregue la electricidad necesaria para satisfacer la demanda, un esquema se presenta en la Figura 14. (Mena Lasluisa, Ortiz Villalba, & Mesias, 2013)

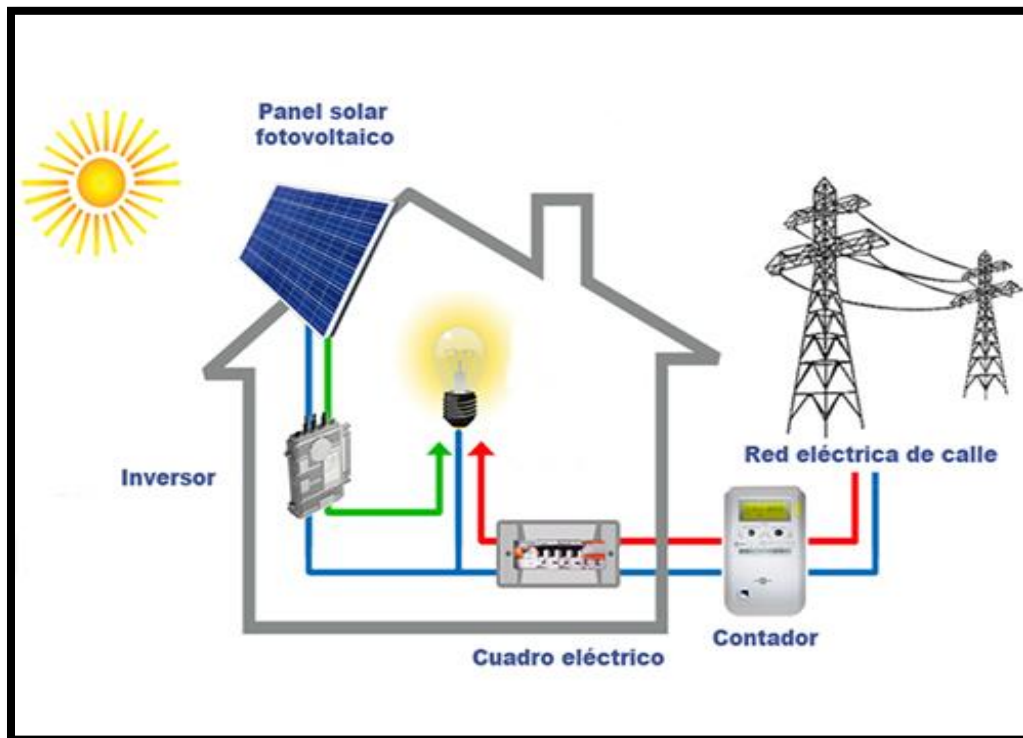


Figura 14 :Esquema de una Instalación Fotovoltaica Conectada a Red
Fuente: www.perthsolarwarehouse.com.au

- b) **Instalación aislada:** son utilizadas en sectores alejados, que no tienen acceso a la red eléctrica, generalmente sectores rurales, iluminación de áreas aisladas, antenas de comunicaciones, balizas o boyas de señalización, bombeo de agua, etc. Estos sistemas van acompañados de inversores de corriente, para pasar de corriente continua a corriente alterna, reguladores de voltaje y bancos de baterías que permiten almacenar la energía que no se está utilizando. Los equipos que forman parte de estas instalaciones son: panel fotovoltaico, inversor de corriente para pasar de CC a CA y un contador que permita contabilizar la energía producida por el sistema ver Figura 15.

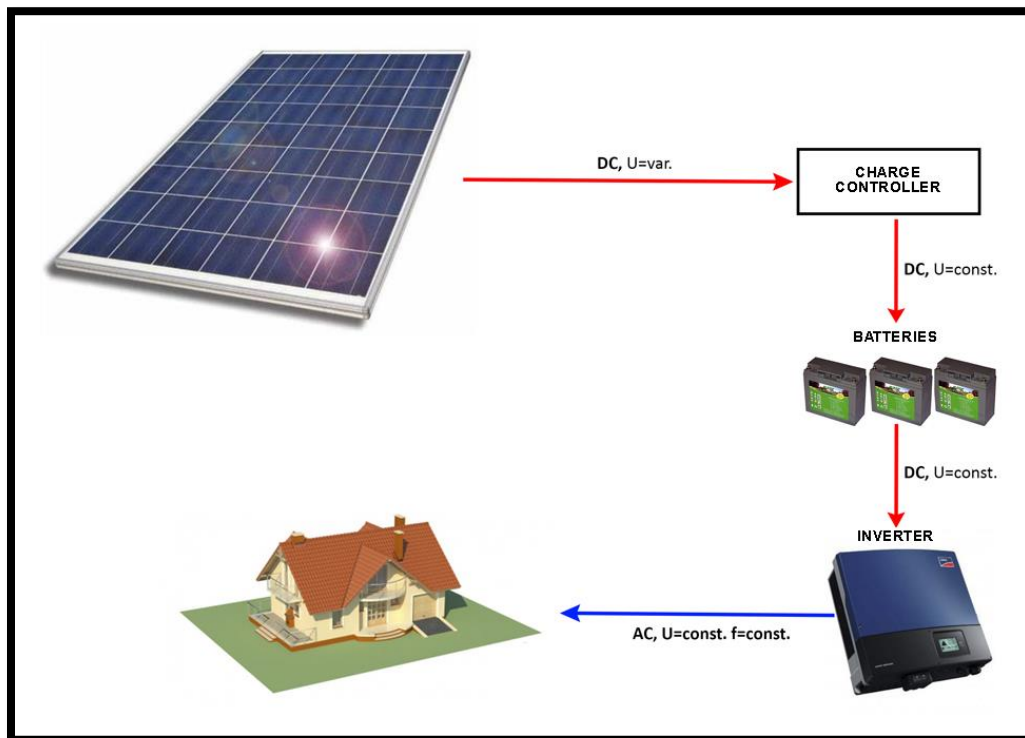


Figura 15: Esquema de una Instalación Fotovoltaica Aislada

Fuente: www.perthsolarwarehouse.com.au

- c) **Instalación híbrida:** en este tipo de instalaciones se combinan la energía solar con otra fuente de energía renovable o no renovable, como, por ejemplo: sistemas eólicos, mareomotriz, biomasa, geotermia, generadores, etc., la tecnología fundamental de este tipo de sistemas dependerá del inversor solar híbrido, que será capaz de gestionar la energía que proviene de varios sistemas como por ejemplo la energía que genera los módulos solares, la energía almacenada en las baterías o inclusive a la red eléctrica, si es que hubiera una conexión, en la Figura 16 se muestra el esquema correspondiente. (Energya, 2020)

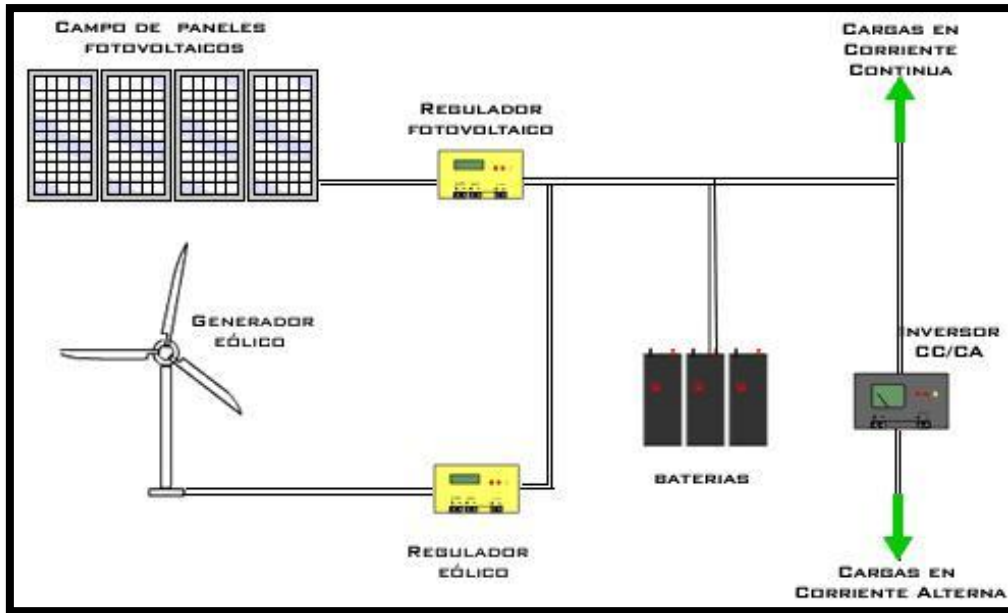


Figura 16: Esquema de una Instalación Híbrida

Fuente: www.perthsolarwarehouse.com.au

2.3.4. Factores de eficiencia y rendimiento

La capacidad nominal del proyecto resultará afectada por una serie de factores que afectan su eficiencia y rendimiento desde diversas ópticas. Los principales factores o variables que pueden restar eficiencia al sistema se da a continuación. (Mamani Mamani, 2019).

- a) **Punto de máxima potencia (Pmp):** se refiere a la máxima potencia que el panel puede entregar, cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus puntos máximos en forma simultánea, esto se visualiza en la curva IV de la Figura 17, donde el vértice sobre la curva, denominado Pmp, representa el valor de máxima potencia, esto se ve en la ecuación 1.

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (1)$$

Dónde:

- **Pmp:** punto de potencia máxima (W).
- **Vmp:** punto de carga o voltaje máximo (V).
- **Imp:** punto de intensidad máxima (I).

b) **Eficiencia en la conversión de energía ("ETA"):** la eficiencia de un panel fotovoltaico, se refiere al porcentaje de energía eléctrica generada en relación a la cantidad de energía luminosa recibida desde el sol, cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico. La Ecuación 2 define la eficiencia (η).

$$\eta = \frac{Pmp}{Ac * Pi * E} \quad (2)$$

Dónde:

- **η :** representa a la eficiencia de la conversión de la energía.
- **Pmp:** punto de potencia máxima (W).
- **E:** nivel de radiación solar en la superficie del panel (W/m^2), bajo condiciones STC.
- **Ac:** superficie del panel fotovoltaico (m^2).
- **Pi:** potencia recibida por el panel.

c) **Factor de forma (FF):** también se conoce como Fill Factor en inglés y define la eficacia de un panel solar, relacionando el punto de máxima potencia (Pm), dividido por el producto

entre el voltaje a circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}). Esto se muestra en la Ecuación 3, y su gráfica en la Figura 17.

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c}{V_{oc} \times I_s} \quad (3)$$

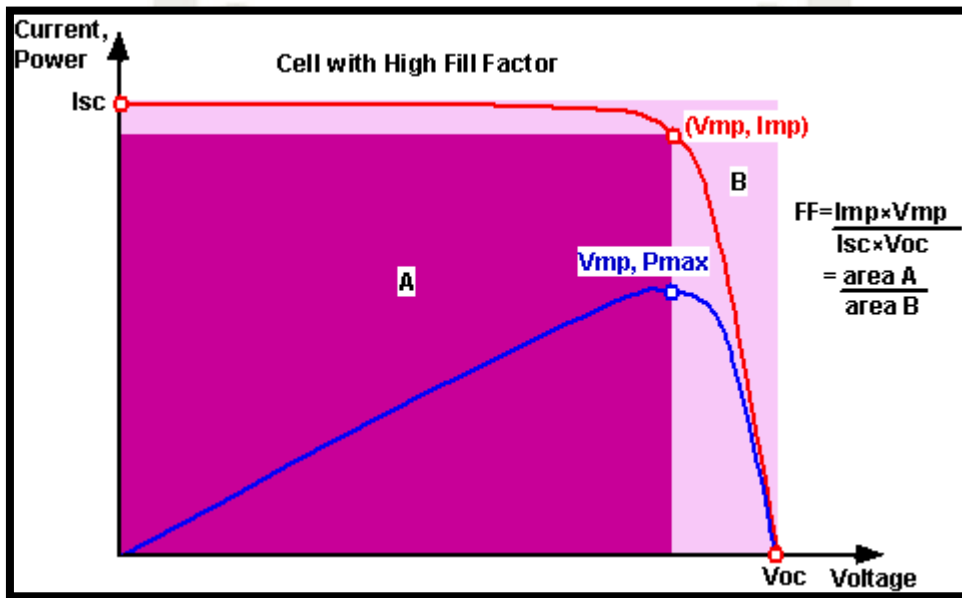


Figura 17: Factor de Forma (FF)

Fuente: www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/factor-de-llenado

- d) **Potencia:** en un día despejado de nubosidad, el sol irradia cerca de 1 kW/m^2 a la superficie de la Tierra. Teniendo en cuenta que actualmente la eficiencia de un panel fotovoltaico puede estar entre el 12 y 25%, se alcanzaría una producción de energía aproximada de 120 a 250 W/m^2 , dependiendo eso sí de la insolación solar.
- e) **Energía de luz incidente:** para producir el movimiento de los electrones y generar flujo de corriente, es necesario que el nivel de radiación que incide sobre el panel (fotones) posea una cantidad de energía entre ciertos límites. Por otro lado la corriente es

directamente proporcional a la radiación incidente y aceptada por el panel, por lo que un bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja, la Figura 18 muestra las curvas IV para distintos niveles de radiación.

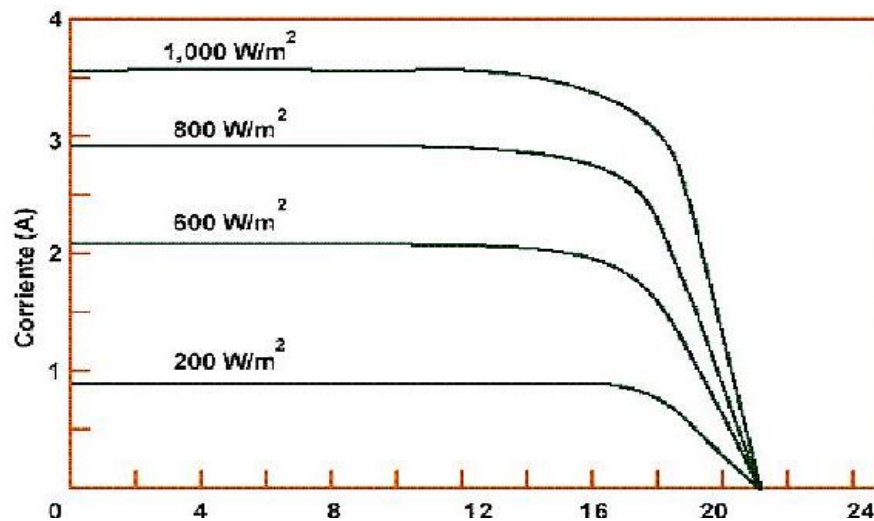


Figura 18: Efectos de los Niveles de Radiación Sobre la Corriente
Fuente: www.solargain.com.au/solar

- f) **Reflexión:** la reflexión de los rayos incidentes origina pérdidas en la superficie del panel. Para disminuir este tipo de pérdidas, en la fabricación de los paneles se están utilizando capas antirreflejo y superficies rugosas.
- g) **Efecto de la sombra:** este tipo de pérdidas afecta notoriamente el rendimiento de los paneles, es por ello que se debe procurar al momento de diseñar una instalación fotovoltaica, situar los paneles en lugares donde no sufran este tipo de interferencias. Los paneles conectados en serie se ven más afectados, donde si un panel es sombreado no generará los mismos niveles de energía, por lo cual se consumirá energía, en vez de generarla.
- h) **Efecto de la orientación e inclinación:** como se dijo anteriormente que la eficiencia de un panel solar depende de cuantos rayos incidentes estén ingresando en el, para ello el panel

debe situarse de manera perpendicular hacia el sol, de esta manera los paneles solares trabajarán en forma óptima. En instalaciones fijas, mantener el panel perpendicular al sol es imposible, por lo cual, el diseño del sistema debe estar de tal forma que su instalación permita aprovechar la mayor cantidad de energía solar y de mayor radiación. Para las instalaciones con sistema de seguimiento, este problema tiene menor incidencia, ya que el panel tiende a mantener la perpendicularidad hacia el sol. La Tabla 2 muestra los valores aceptables para distintos factores de pérdidas.

Tabla 2:
Factores de Perdidas

	Concepto	Orientación e Inclinación	Sombras (S)	Total (OI+S)
General	Limpio	10%	10%	15%
Superposición	Efecto de Superposición de Elementos	20%	15%	30%
Integración Arquitectónica	Efecto de Obstrucción por Edificio u otros Elementos	40%	20%	50%

Fuente: Méndez, J. (2008). Energía Solar fotovoltaica. Madrid. Editorial Fundación Confemetal

Nota: La información de esta tabla es referencia. Habrá que ajustarla a la zona de instalación.

- i) **Efecto de la Temperatura:** la temperatura es un parámetro que afecta directamente la generación de energía en un panel fotovoltaico. Cuando la temperatura aumenta, la corriente también aumenta, pero el voltaje disminuye, lo que provoca una disminución de la potencia entregada por el panel, en cambio, cuando la temperatura se reduce, el voltaje tiende a

aumentar, pero la corriente disminuye, lo cual provoca que aumente en una fracción el nivel de potencia entregada. Se estima que la potencia nominal se reduce aproximadamente un 0.5% por cada grado por sobre de 25 °C. Esto se puede ver en la Figura 19. (Mendez Muñiz, 2007)

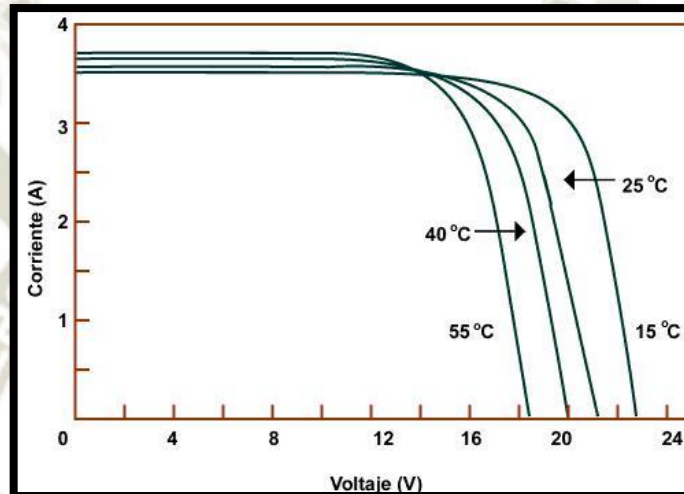


Figura 19: Efectos de la Temperatura Sobre la Generación de Energía en un Panel Solar
Fuente: www.solargain.com.au/solar

La tensión de circuito abierto V_{OC} es la diferencia de potencial que se obtiene cuando la célula fotovoltaica recibe los rayos solares incidentes, sin estar conectadas en las regiones positivo y negativo, V_{oc} el máximo valor de voltaje de la célula. La corriente de cortocircuito I_{SC} es aquella que se obtiene cuando las regiones positiva y negativa están conectadas por un conductor exterior con una resistencia cero. I_{sc} es el máximo valor de corriente de la célula.

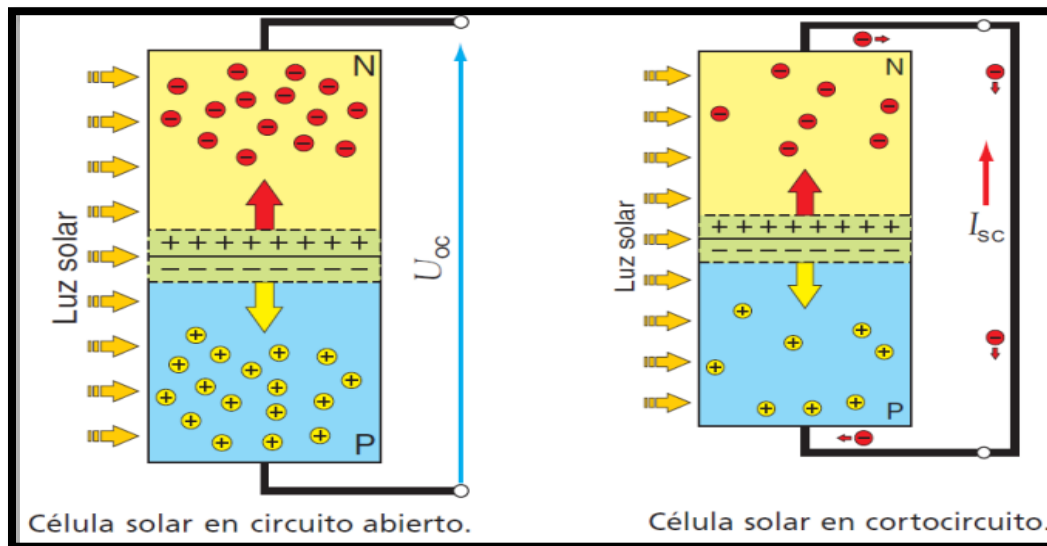


Figura 20: Célula Solar en Circuito Abierto y Cortocircuito
Fuente: www.ingelibreblog.wordpress.com

Como se mencionó anteriormente las curvas de I-P o P-V se obtienen a través de la potencia generada por una célula con una temperatura e irradiación, de esta manera podremos evaluar cual es la potencia máxima en ese punto y obtener la intensidad máxima I_{mp} y el voltaje máximo V_{mp} . La potencia máxima en condiciones estándar de medida (CEM) o Standard Test Conditions (STC), que son: temperatura de la célula 25°C , irradiancia 1000 W/m^2 y AM (masa de aire) 1.5, también se denomina potencia de pico de la célula.

Las condiciones de funcionamiento son muy variables, pudiendo variar en un rango de 0– 1000 W/m^2 en el caso de la irradiancia y temperatura de la célula hasta 50°C superior a la temperatura ambiental.

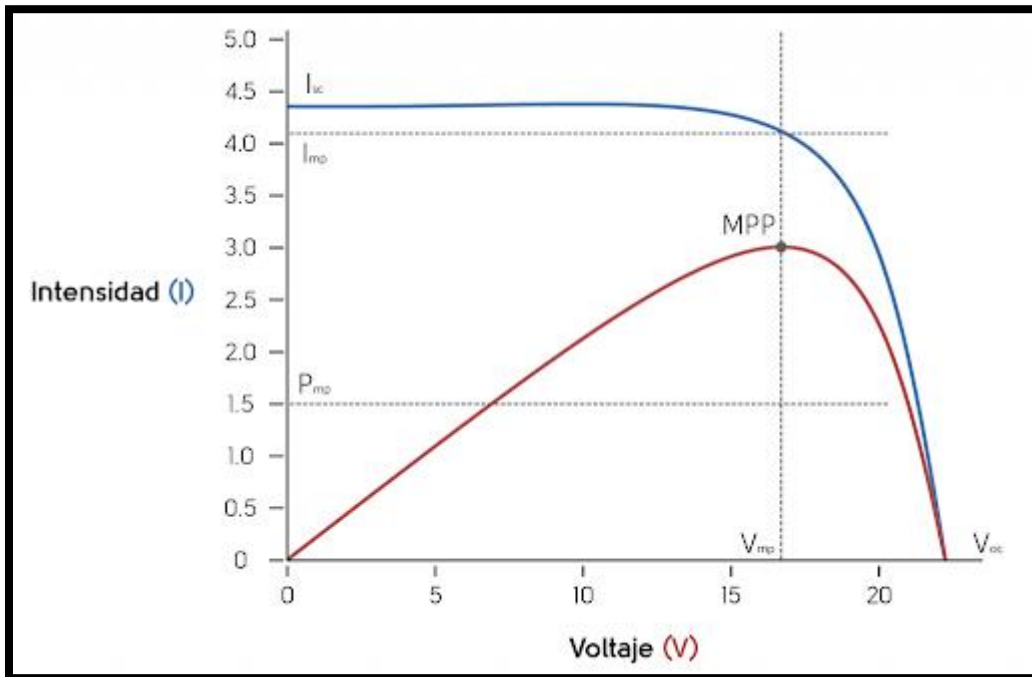


Figura 21: Punto de Máxima Potencia de un Panel Solar

Fuente: www.saclimafotovoltaica.com/reguladores-mppt/

La temperatura de trabajo de una célula está íntimamente relacionada con la temperatura ambiente y la irradiación y se puede obtener mediante la Ecuación 4.

$$T_c = T_a + G \times \frac{TONC - 20}{800} \quad (4)$$

Dónde:

- **T_c**: temperatura de trabajo de la célula (°C)
- **T_a**: temperatura ambiente (°C)
- **TONC**: temperatura de operación nominal de la célula (°C)
- **G**: irradiancia (W/m²)

El valor de la temperatura de operación nominal de la célula (TONC), toma valores que van de 43 a 49°C y si no se dispone de él se puede tomar 45°C como un valor razonable.

TONC o NOCT “Nominal Operating Cell Temperatura” corresponden a una irradiancia en el plano del módulo de 800 W/m², con orientación normal a la radiación incidente al mediodía solar, temperatura ambiente de 20°C, velocidad del viento de 1 m/s y funcionamiento en circuito abierto. (Ingelibre, 2014)

- j) Efectos de la irradiancia:** anteriormente, mencionamos que tanto la tensión y la corriente generada en una célula, dependerá directamente de la radiación solar, la corriente de cortocircuito de la célula es directamente proporcional a la irradiancia como se muestra en la Figura 22, la corriente se reduce a medida que se reduce la irradiancia. La tensión de circuito abierto se le puede considerar constante, ya que varía poco con la irradiancia, aunque también decrece.

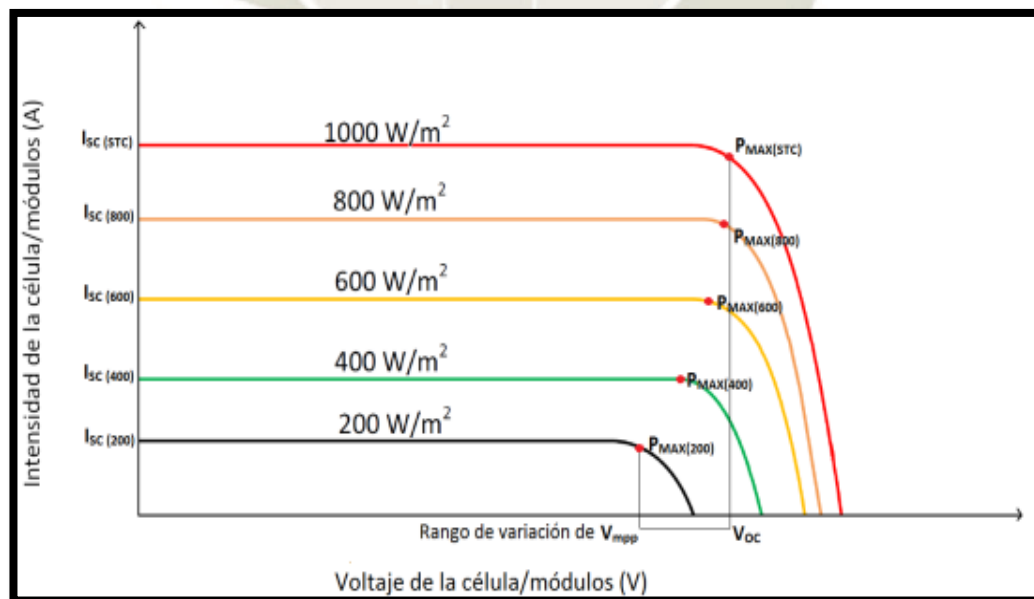


Figura 22: Grafico del Voltaje en Función de la Corriente de un Panel Solar
Fuente: www.ingelibreblog.wordpress.com

La intensidad de cortocircuito, I_{SC} , varía con la irradiancia, la Ecuación 5 I_{sc} :

$$I_{sc}(G) = G \times \frac{I_{sc}(CEM)}{1000} \quad (5)$$

Dónde:

- **$I_{sc}(G)$** : intensidad de cortocircuito para una irradiancia G (A)
- **$I_{sc}(CEM)$** : intensidad de cortocircuito en condiciones CEM (A)
- **G** : irradiancia (W/m^2)

Podemos concluir diciendo que a mayor irradiancia, mayor intensidad de cortocircuito, y que a mayor temperatura, menor tensión de circuito abierto, menor potencia máxima generada y mayor intensidad de cortocircuito.

- k) Masa de aire:** está determinada por la posición relativa del sol respecto a la horizontal de un lugar de la tierra en particular. Dicho de otra forma, se relaciona con el ángulo de incidencia del sol respecto al cenit, la masa de aire se muestra en la Figura 23. (Martínez Jiménez, 2012)
- l) Cenit (zenit o cénit):** corresponde a la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste. Es el punto más alto del cielo o bóveda celeste. El punto diametralmente opuesto de la esfera celeste al cenit se denomina nadir, el cenit se muestra en la Figura 24. (Martínez Jiménez, 2012)

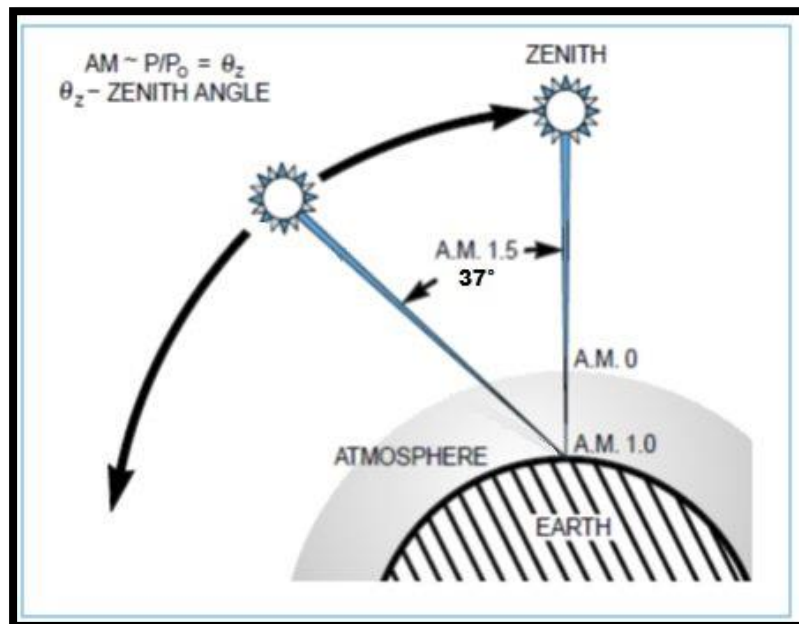


Figura 23: Masa de Aire entre el Sol y la Superficie Captadora
Fuente: www.radiación solar.bibing.us.es/proyectos

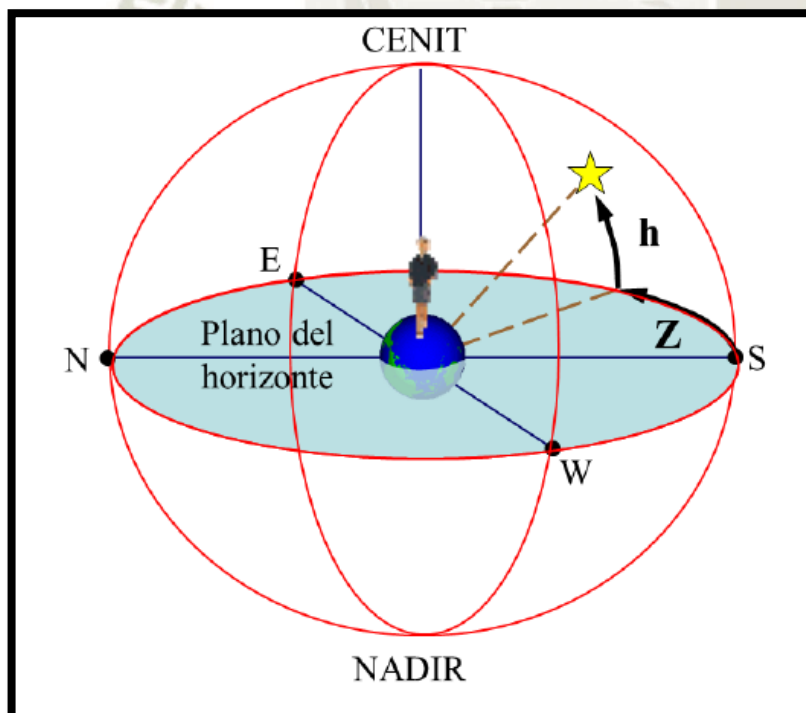


Figura 24: Representación del Cenit y Nadir
Fuente: Martínez A.(2012).Dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas.
Madrid. Ediciones Paraninfo

- m) Inclinación (β):** ángulo entre el panel solar y el plano horizontal. Este ángulo será de gran importancia para una buena instalación. Dependerá directamente de la latitud del lugar y de la estación del año. (Martínez Jiménez, 2012)
- n) Ángulo acimutal(α):** en astronomía es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal Norte (Sur) y la proyección vertical del sol sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud Norte (Sur). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj (Norte-Este-Sur-Oeste). Por proyección vertical entendemos el corte con el horizonte que tiene el círculo máximo que pasa por el cenit y el sol, en la Figura 25, podemos apreciar el ángulo acimutal (Martínez Jiménez, 2012)

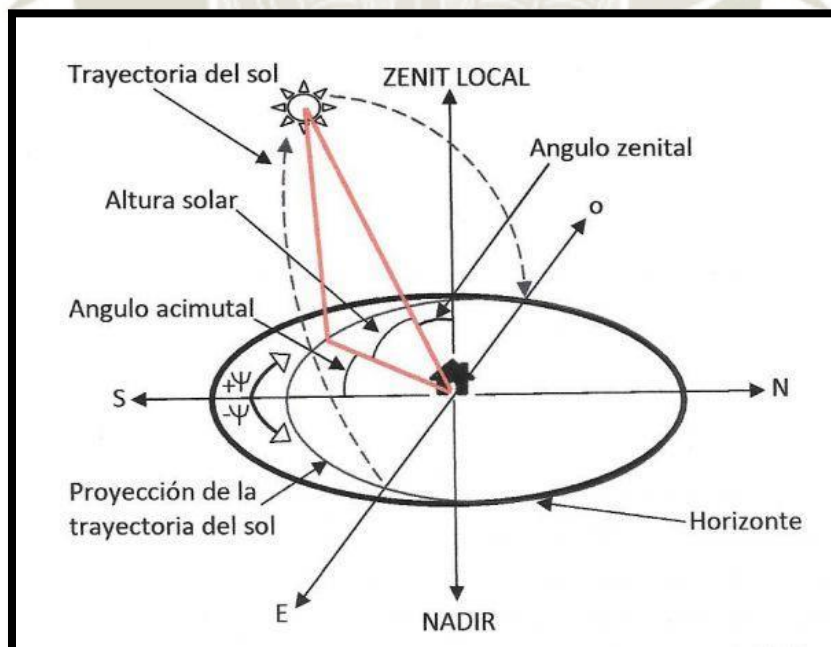


Figura 25: Ángulos de Inclinación (β) y Acimut (α)
Fuente: www.radiación solar. bibing.us.es/proyectos

2.4 Normatividad de Energía Fotovoltaica

2.4.1. Marco regulatorio de las RER y potencial de las energía fotovoltaicas

Las Energías Renovables están sujetas a un marco regulatorio que es necesario conocer para su fiel cumplimiento. Las principales normas son:

- a) Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento (1993, 1994), crea el mercado eléctrico y establece su arreglo institucional.
- b) Ley de Generación Eficiente (2006), ley que promueve licitaciones y contratos de largo plazo como medio para respaldar inversión en generación a gran escala (grandes hidroeléctricas y otras tecnologías convencionales).
- c) Decreto Legislativo N° 1002 (“DL 1002”), se tiene en las diversas fechas : el 02/05/2008, declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de la generación de electricidad mediante recursos renovables. – D.S. N° 012-2011-EM, 23/03/2011, aprobó reglamento de la generación de electricidad con energías renovables. – D.S. N° 020-2013-EM, 27/06/2013, aprobó reglamento para la promoción de la inversión eléctrica en áreas no conectadas a red. RER: Evolución del marco regulatorio.

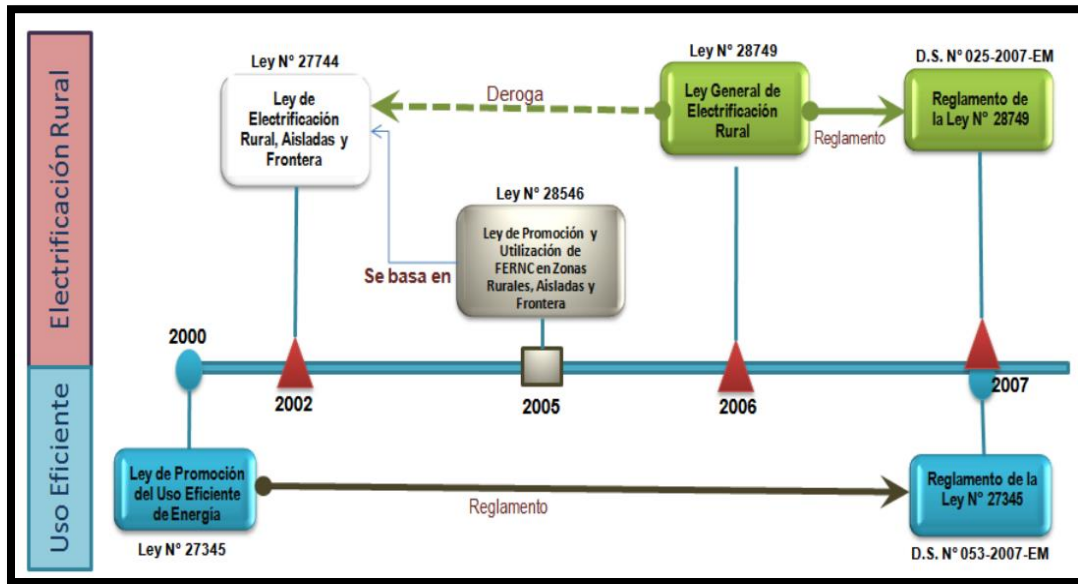


Figura 26: Evolución del Marco Regulatorio
Fuente: www.osinergmin.gob.pe.

Antes del año 2008, inicialmente, el marco regulatorio evolucionó hacia el desarrollo de la electrificación rural y el uso eficiente de energía, para luego en el año 2008 el marco se elevó hacia el desarrollo de la producción de electricidad con energías renovables a gran escala (RER)

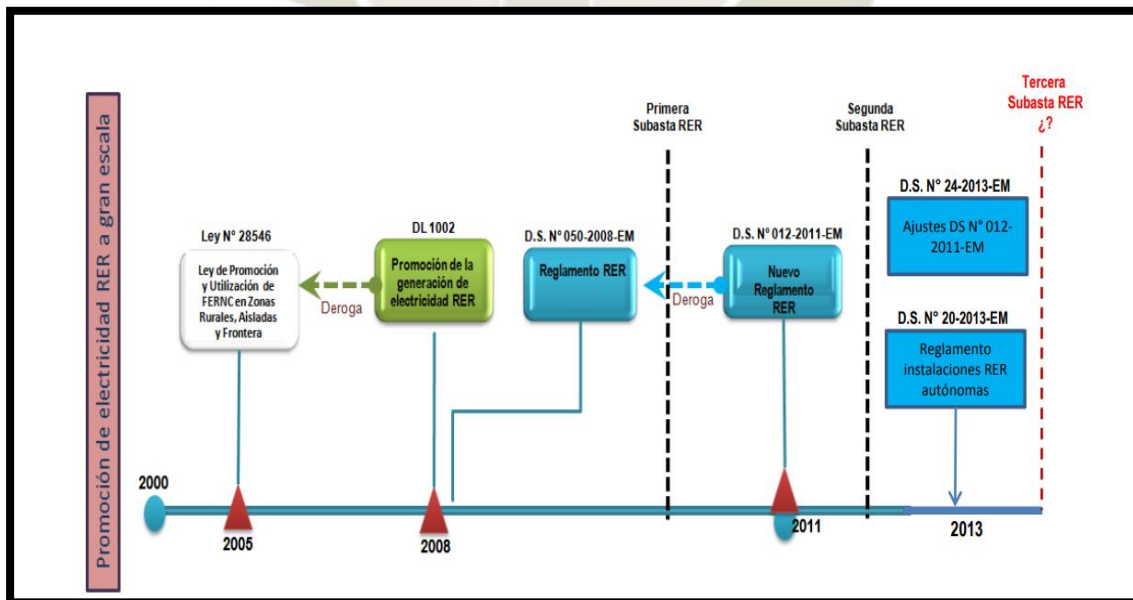


Figura 27: Promoción de electricidad RER a gran escala
Fuente: www.osinergmin.gob.pe.

El marco normativo global estará referido básicamente a los siguientes instrumentos:

- Código Nacional de Electricidad R.M. N° 366-2001 (1.7.2002)
- Reglamento Nacional de Edificaciones (Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA).
Capítulo: Instalaciones Eléctricas.
- Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. DECRETO LEGISLATIVO N° 1002 (mayo 2008)
- Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables. Decreto Supremo N° 012-2011-EM (Marzo 2011)
- Bases de la segunda Subasta RER, aprobadas mediante Resolución Viceministerial N° 036-2011-MEM/VME del Ministerio de Energía y Minas.
- Normas técnicas sobre materiales y equipos eléctricos.
- Ley N° 28832 « LEY PARA ASEGURAR EL DESARROLLO EFICIENTE DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA», y Decreto Supremo N° 048-2007-E
- Ley N° 27699. LEY COMPLEMENTARIA DE FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DEL ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA (OSINERG).
- Norma Técnica Peruana, NTP 399.403.2006/R.0013-2006/INDECOPI-CRT (2006.03.06): Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 W. Especificaciones Técnicas y método para la calificación energética de un sistema fotovoltaico.
- Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural. R.D. N° 003-2007-EM/DGE (2007.02.12)

2.5 Energía Eléctrica Requerida

2.5.1. La demanda energética y la matriz energética

Desde la época de la revolución industrial, el consumo de la energía a nivel global ha aumentado de forma exponencial, creciente y continua. En 1900, el consumo energético global estaba en un nivel de 0,7 TW ($0,7 \times 10^{12}$ Watts), llegando al 2017 a un nivel de 196 TWh, lo que supone un crecimiento anual del orden del 3% anual. Al año 2020, el consumo estaría bordeando los 240 TWh, en la Tabla 3 se visualiza la matriz energética mundial 2006, con los diferentes tipos de energías y combustibles. (BP Workbook, 2020)

Tabla 3:
Matriz Energética Mundial 2006

MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL 2006			
Tipo de combustible	Potencia en TW	Energía/año en EJ	
Petróleo	6.7	216	37.56
Gas	4.2	135	23.48
Carbón	4.6	147	25.49
Hidroeléctrica	1.1	35	6.04
Nuclear	1.1	35	6.04
Geotérmica, eólica, solar, biomasa	0.3	8	1.40
Total	17.9	575.0	100.0

Fuente: BP Workbook of historical data (xlsx) .London, 2012

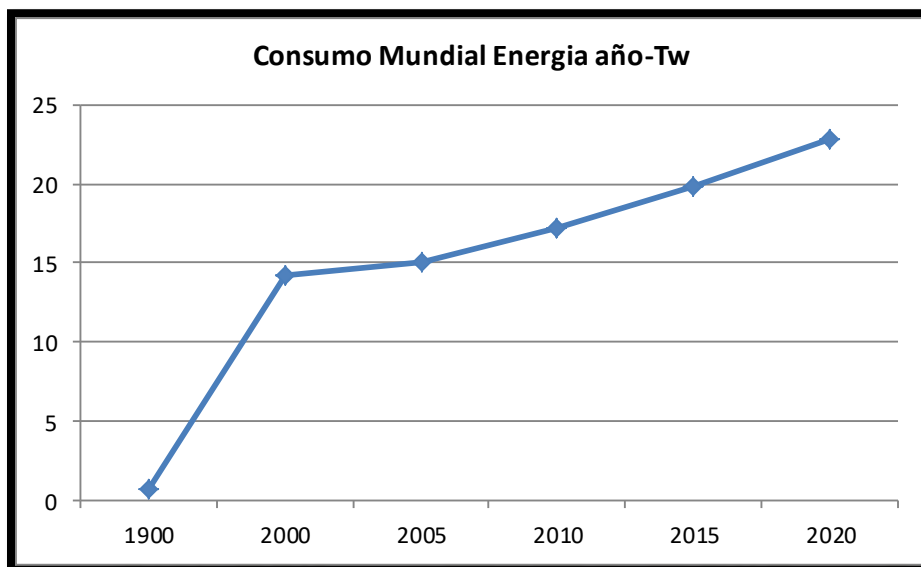


Figura 28: Consumo Mundial de Energía a lo Largo de los Años
Fuente: BP Workbook of historical data (xlsx) London, 2012

La matriz de energía a nivel mundial es de un total de 17.9 TW aproximadamente. El 64% de las fuentes energéticas son de fuente contaminante y solo 1% de fuente no contaminante. Este hecho, delata un gran peligro para la existencia misma del planeta. En la década de los 90's, surgen foros mundiales que apoyan la conservación del planeta los cuales están en contra de todo lo que alimenta la contaminación ambiental, surgen así, una serie de foros sobre el cambio climático, desde el Convenio de Kyoto .

El Protocolo de Kyoto es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y el acuerdo internacional donde la misión es reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y generan contaminación causando el calentamiento global, estos gases son los siguientes: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), en un porcentaje aproximado de al menos un 5 %, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en

comparación a las emisiones a 1990), hasta el foro del Acuerdo de Paris sobre el cambio climático. “En este contexto nacen una serie de tendencias de apoyo a las Energías no contaminantes como la energía solar, eólica de biomasa, entre otras” (UNECE.ORG, 2012)

2.5.2. Demanda energética en el Perú

El Perú cuenta con diversos recursos energéticos: petróleo, gas natural, hidroeléctricas, energía solar, biomasa, entre otros. En los últimos 10 años, el gobierno ha implementado políticas que buscan aprovechar algunas de estas fuentes de energía para impulsar nuestra economía, reducir la dependencia de recursos no renovables como el petróleo y proteger el ambiente. El proyecto Camisea es uno de los proyectos, que cambió considerablemente la matriz energética de nuestro país, esencialmente con el gas natural, la contribución de gas natural ayudo a que la matriz energética peruana creciera desde 67% en el año 2000, hasta 80% en el año 2014. Actualmente, la matriz energética se compone por las siguientes fuentes, que se indican en la Figura 29. (Horn Mutschler, 2009)

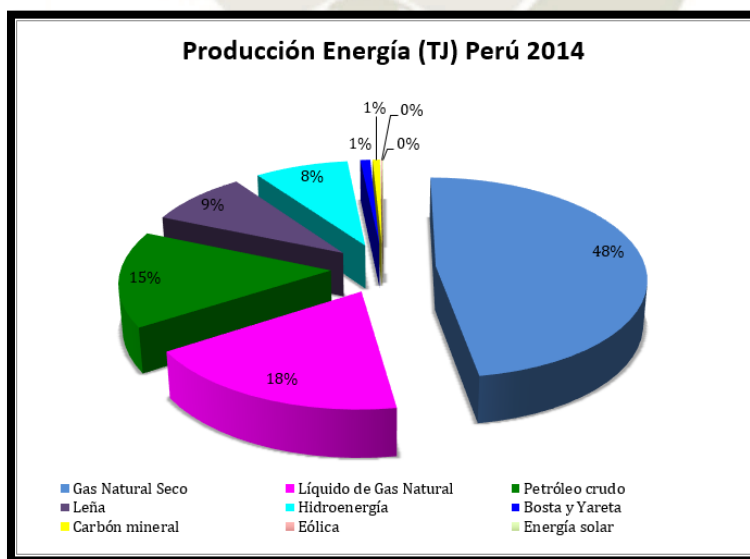


Figura 29: Producción Energética del Perú

Fuente: [www.fc.uni.edu.pe/mhorn/Aprovechamiento descentralizado.pdf](http://www.fc.uni.edu.pe/mhorn/Aprovechamiento%20descentralizado.pdf)

2.5.3. Energía eléctrica requerida en el centro poblado de Arcata

La demanda energética en el proyecto, será realizara para los usuarios finales, donde los usuarios son los consumidores finales, y la producción de energía de la planta tiene que ser de acuerdo con el consumo de la misma. Los usuarios finales o beneficiarios inmediatos son los siguientes:

- a) **La empresa misma y la municipalidad de la zona:** el municipio del centro poblado de Arcata, requerirá energía de acuerdo a su consumo, para lo cual hemos tomado en consideración los diferentes ambientes u oficinas que están presentes en el municipio.

Tabla 4:

Estimación de Consumo Mensual en el Municipio de Centro Poblado de Arcata

Oficinas	Equipos o aparatos	Potencia en watts	Potencia en kW	kWh/día 8 horas	kWh/mes (26 días)
Gerencia municipal	2 Computadoras	400	0.4	3.2	83.2
	1 Teléfono inalam.	1.8	0.0018	0.0144	0.3744
	1 Ventilador de aire	100	0.1	0.8	20.8
Asesoría jurídica	2 Computadoras	400	0.4	3.2	83.2
	1 Teléfono inalam.	1.8	0.0018	0.0144	0.3744
	1 Impresora	25	0.025	0.2	5.2
Planeamiento y presupuesto	1 Televisor Led	50	0.05	0.4	10.4
	1 Computadora	200	0.2	1.6	41.6
Informes	1 Computadora,	200	0.2	1.6	41.6
	1teléfono inalam.	1.8	0.0018	0.0144	0.3744
	1 Impresora	25	0.025	0.2	5.2
Auditorio municipal	1 Cañón proyector	260	0.26	2.08	54.08
	1 Televisor Led	50	0.05	0.4	10.4
Total		1715.4	1.7154	13.7232	356.8032

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la Tabla 4, se tiene un consumo mensual de 356.8032 kW, ya que es un establecimiento relativamente pequeño, se tomo en consideración para el cálculo de la potencia de consumo con 8 horas de trabajo, y para el cálculo mensual 26 días laborales. La energía para el reabastecimiento de la planta será muy similar a la energía producida por el municipio, ya que cuenta con oficinas administrativas y demás zonas necesarias también, podemos tener una idea en la Figura 30 donde se muestra el plano de la distribución de áreas de la planta solar fotovoltaica.

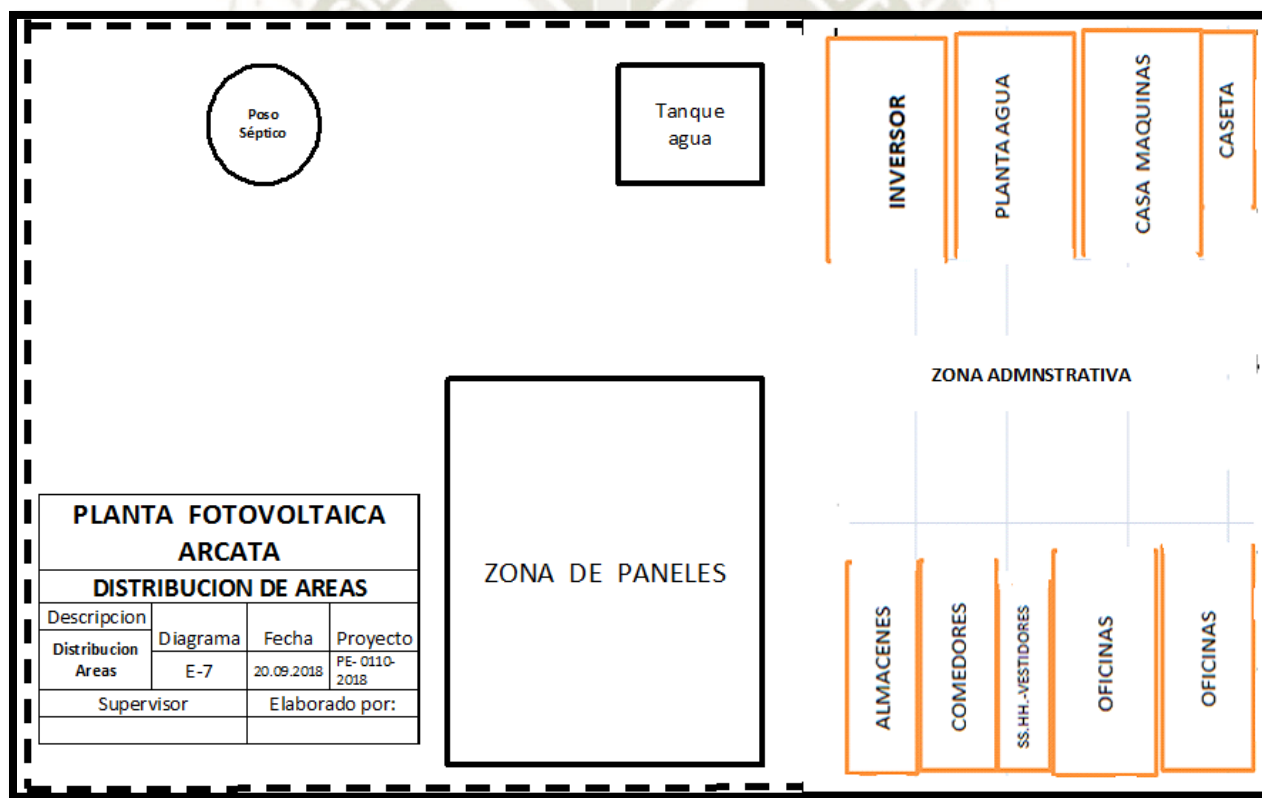


Figura 30: Plano de Distribución de Áreas
Fuente: Elaboración Propia

Con esto se tiene una idea más clara del plano de las áreas, entonces hacemos una estimación del requerimiento de energía eléctrica para las diferentes áreas de la parte

administrativa de la planta fotovoltaica, como son los: almacenes, comedores, vestidores, oficinas, casa de maquinas, etc., donde cada área dispone de diferentes equipos e iluminación eléctrica, en la Tabla 5 , se muestra el consumo mensual que existe en las diversas áreas.

Tabla 5

Estimación de Consumo Mensual para las Áreas de la Planta Solar Fotovoltaica

Áreas	Consumo por Área en Watts	Potencia en kW	kWh/día 8 horas	kWh/mes (26 días)
Almacenes	271.5	0.2715	2.172	56.47
Comedores	181.03	0.18103	1.44824	37.65
Oficinas	271.5	0.2715	2.172	56.47
Iluminación	363.47	0.36347	2.90776	75.4
Total	1087.5	1.0875	8.70	225.92

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente la energía total requerida o de consumo sería la suma de las dos potencias, del municipio y del reabastecimiento, se tiene :

$$13.7232 \text{ kWh} + 8.70 \text{ kWh} = 22.4 \text{ kWh/día}$$

b) Las familias del pueblo de Arcata: las familias beneficiadas de las energía por parte de la planta serán 24 familias de 150 familias existentes en la zona, y se hizo una estimación y estudio que por familia existe un consumo promedio de 70 kWh por mes aproximadamente, el número de familias beneficiadas aumentaría en una segunda etapa, siempre y cuando la producción de la energía generada también aumente, es decir la capacidad de la planta se

expandiría en una segunda etapa, dado los beneficios que traería a la población, la estimación o demanda energética de las familia por mes se da en la Tabla 6.

Tabla 6
Estimación de Consumo Mensual en Arcata

Número de familias	kWh por familia	Consumo mensual
24	70	1680 kWh /mes
50	70	3500 kWh/ mes
100	70	7000 kWh/ mes
150	70	10500 kWh/mes

Fuente: elaboración propia

El consumo eléctrico de cada familia se hizo en base a la manera de vivencia de la comunidad, para este caso la mayor parte de la población se dedica a la ganadería de diversos animales como las alpacas, llamas y guanacos, por lo que disponen de servicios básicos, en la Tabla 7 hacemos una estimación, donde podemos ver el consumo de cada familia, es decir los electrodomésticos básicos que dispone cada una :

Tabla 7:
Consumo Eléctrico por Cada Familia en Arcata

Electrodoméstico	Potencia en Watts o VA	Potencia en kW	Horas diarias de uso	kWh/día	kWh/mes
televisor	65	0.065	8	0.52	15.6
radio	14.4	0.014	4	0.056	0.224
Computadora	200	0.2	5	1.0	30.0
nevera	350	0.35	3	1.05	31.5
Total	629.4	0.629	20	2.626	77.32

Fuente: elaboración propia

La suma, nos daría un total de: 77.32 kWh/ mes aproximadamente, este valor puede variar, de acuerdo a las horas de consumo por parte de cada familia, se tiene para 24 familias :
 $24 * 2.626 = 63.024 \text{ kWh/día.}$

c) **La localidad (alumbrado público):** el pueblo de Arcata es un pueblo relativamente pequeño por lo que hemos hecho una estimación del consumo de alumbrado público, con lo cual se ha dispuesto de 112 postes aproximadamente lo suficiente para un centro poblado pequeño, donde cada poste de luz es de 70 w, logrando así una buena iluminación en la zona, en un mes, en la Tabla 8 se da el cálculo para el consumo total por poste.

Tabla 8 :
Consumo Eléctrico de Alumbrado Publico

# de postes a usar	Potencia por poste en watts	Potencia kW	Horas de uso	kWh/día	kWh/mes
1	70	0.07	8	0.56	16.8
112	7840	7.840	8	62.720	1881.6

Fuente: Elaboración Propia

A partir de este punto podemos calcular el número de paneles solares fotovoltaicos como la producción de la planta, eso se detallara en el capítulo 3.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

En este capítulo se desarrollará el diseño de la planta solar fotovoltaica para el centro poblado de Arcata, se realizara los cálculos y dimensionamiento respectivos de los equipos que se utilizaran, así como también las normas necesarias para su implementación.

3.1 Radiación en el centro poblado de Arcata

Para poder desarrollar la planta solar fotovoltaica es necesario conocer la zona de Arcata y saber si es una zona donde existe la radiación necesaria, en esta sección se definirá la radiación en la zona, como su localización, y en la sección posterior el diseño de la planta.

3.1.1. Macro localización

Para este caso la macro localización estaría predeterminada, pues el proyecto dispone de un área disponible de 30,000 m² que son equivalentes a 3 ha, localizados en el distrito de Arcata, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, el mapa de localización se puede apreciar en la Figura 31. Lo que se hará a continuación es una justificación técnica de la micro localización.

3.1.2. Micro localización

La Micro localización del Proyecto, toma en cuenta la zonificación industrial del Plan Director de la Provincia de Condesuyos (Municipalidad de Condesuyos) y las normas técnicas actuales relacionadas al tema.

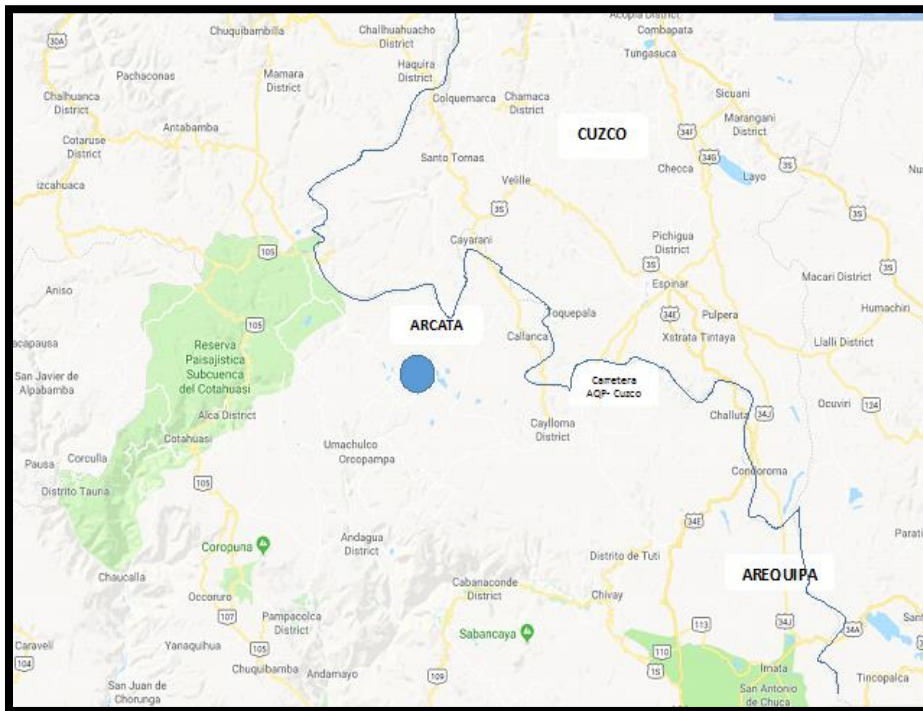


Figura 31: Mapa de Localización del Proyecto

Fuente: <https://www.google.com/maps>

Teniendo en cuenta que el presente proyecto está orientado a la producción de energía fotovoltaica, una de las variables importantes es la infraestructura básica, es decir el acceso vial y los servicios básicos

- **Carreteras:** el acceso vial a la Planta se dará por dos vías, esto se puede apreciar en la Figura 32, una vía A: Arequipa Charcani, Pampa Arrieros-Imata Tuti, Caylloma Alcania, Arcata. , con una longitud de 357 km, de los cuales un 70% es asfaltado. Mientras que la vía B: Arequipa La Joya, Sta. Rita Corire (Majes), Aplao, Andagua, Ciscopampa, Arcata, con una longitud de 393 km, de los cuales un 40% es asfaltado.
- **Servicios Básicos:** agua, conectividad, energía básica. Esta infraestructura genera accesibilidad al proyecto: acceso físico y de conectividad.



Figura 32: Vía de acceso al Pueblo de Arcata
Fuente: <https://www.google.com/maps>



Figura 33: Localización de la Planta de Energía Fotovoltaica
Fuente: <https://www.google.com/maps>

3.1.3. Radiación en Arequipa.-Arcata

Según las fuentes de Senamhi, una de la ciudades a nivel nacional con mayor radiación es Arequipa, llegando a alcanzar hasta los 18 puntos de radiación en algunas zonas, en la Figura 34, se puede apreciar los diferentes niveles de radiación en los diversas provincias, el color rojo indica que la radiación solar es mayor en esa zona, en la Tabla 9 se puede ver la radiación promedio en Arequipa según Senamhi. (Peru21, 2008)

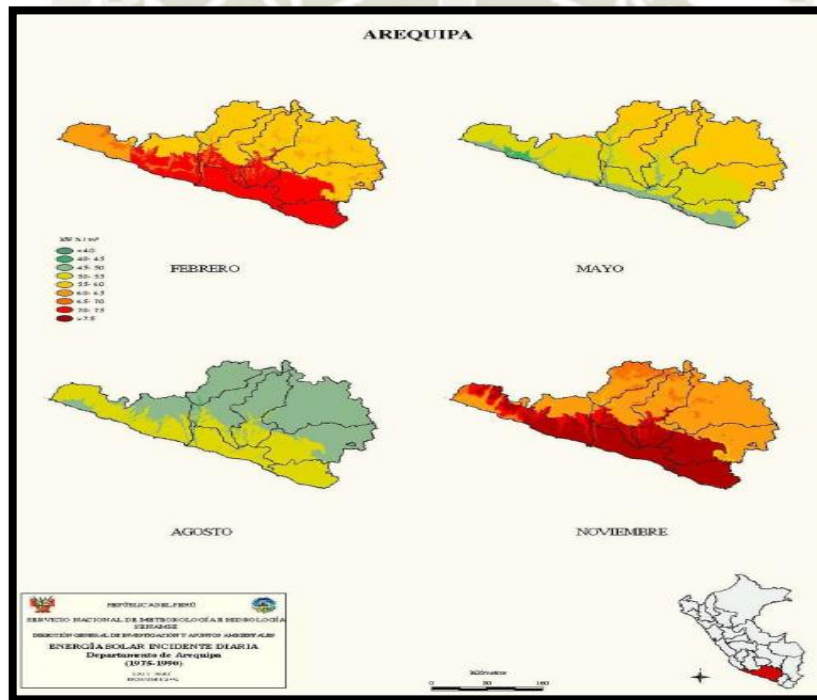


Figura 34: :Energía Solar Diaria en el Departamento de Arequipa
Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/>

Tabla 9 :
Radiación Solar Promedio en Arequipa

Arequipa - Potencial de radiación solar					
kWh-M ²	F	kW-día	kW-mes	kW-año	MW
7.46	93.6	698	20948	251372	250

Fuente: senamhi.gob.pe y Atlas solar

La radiación solar en Arcata varía de acuerdo a los factores del clima que se pueda presentar de acuerdo a cada estación del año, pero por lo general muestra niveles altos de radiación durante todo el año, en la Tabla 10 se muestra la radiación solar por meses en kWh/m² y el promedio.

Tabla 10:
Niveles de Radiación Solar Mensual Promedio en Arcata

	En.	Febr.	Mzo	Abr.	My	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
kWh/m ²	163.3	135.8	166.4	188.4	245.8	243.4	248	246.4	224.8	224.2	238.6	185.6

Fuente: senamhi.gob.pe y Atlas Solar

La Tabla 10 nos muestra los promedios mensuales de radiación directa en el centro poblado de Arcata, donde el promedio anual es de 2511 kWh/m² y una radiación de 6.879 kWh/m² por día aproximadamente, superando así la irradiancia solar mínima de 3.5 kWh/m² por día dada por la noma N°003-2007-EM/DGE, así también como otros factores: rango de temperatura, altura, velocidad del viento, entre otros. En la Figura 35 se muestra el histograma de niveles de radiación mensual.

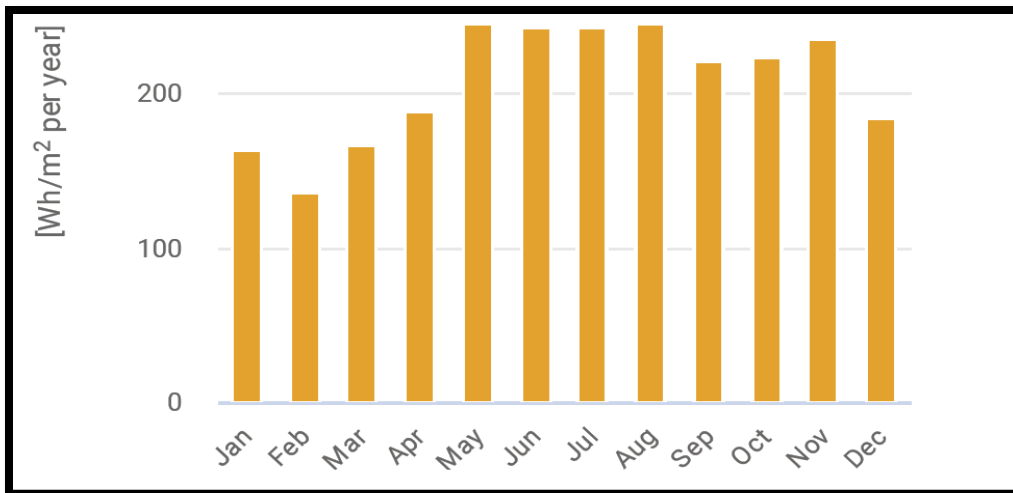


Figura 35 Niveles de Radiación Solar kWh/m2 en Arcata

Fuente: www.senamhi.gob.pe y Atlas Solar

Las zonas de alta radiación están presentes en las diferentes provincias y lugares de Arequipa, siendo así la zona de Arcata una de las más elevadas, en la Tabla 11, se muestra la comparativa frente a otras zonas.

Tabla 11:

Zonas de alta Radiación Solar en kWh/m² por día

Zonas de alta Radiación	
Localidad	kWh/m ²
Characato	7
Imata	6.01
Angostura	6.13
Condesuyos	6.14
Majes	5.11
Arcata	6.87

Fuente: www.senamhi.gob.pe y Atlas solar

De la Tabla 11 podemos establecer que la radiación promedio de la zona es de 6.87 kWh/m². Con estos datos podemos verificar que la zona donde se implementara la planta solar fotovoltaica cumple con los requisitos necesarios para su instalación y aprovechamiento máximo.

3.1.4. Ecuaciones para las graficas de las curvas IV y PV del panel solar fotovoltaico

Normalmente las curvas corriente-tensión (IV) de un panel se dan para una gama de irradiancia a una misma temperatura o para una gama de temperaturas a una irradiancia fija. En una instalación real, la temperatura de una panel varia con la radiación solar y si el panel continua en funcionamiento, esa misma temperatura dependerá además del punto IV de la curva en que se esté trabajando, en la Figura 36 se visualiza el diagrama eléctrico de un panel solar.

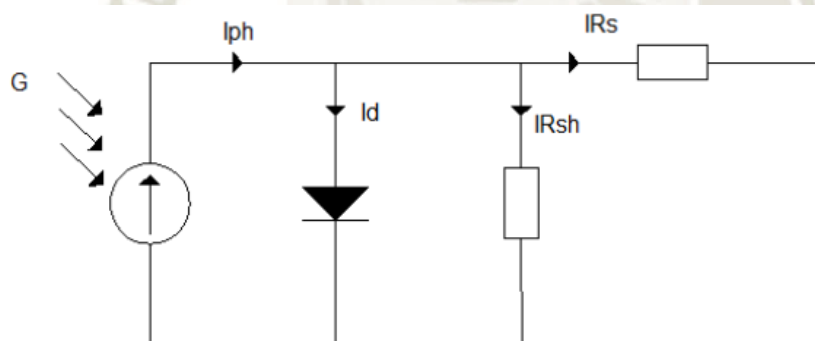


Figura 36. Diagrama Eléctrico de un Panel Solar

La ecuación característica que representa la celda fotovoltaica en términos de corriente y voltaje esta descrita en la Ecuación 6:

$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{A} \right) - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (6)$$

Dónde:

- I_{ph} : foto-corriente generada (A)
- I_o : corriente de saturación (A)
- $A=nV_t$: Factor ideal modificado
- n : Factor ideal del diodo
- k : constante de Boltzmann ($k=1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$)
- q : carga del electrón ($q=1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$)
- T : temperatura de la celda ($^{\circ}\text{K}$)
- V_t : voltaje térmico $V_t=kT/q$ (V)
- R_s : resistencia en serie (Ω)
- R_{sh} : resistencia shunt (Ω)

Con la ecuación 6 determinaremos el comportamiento de la curva IV por variación de la irradiancia y variación de la temperatura que existe en la zona de Arcata, los datos como I_{ph} , I_o , A , R_s y R_{sh} a su vez dependerán tanto de la incidencia de la radiación, la temperatura y otros factores, estos valores de referencia generalmente son propuestos por el fabricante del panel solar en condiciones estándar (STC), donde la irradiancia es de 1000 W/m^2 y temperatura de 25°C . (Rahmani, Seddaoui, Kessal, & Chauder, 2011).

Para realizar la gráfica de la curva IV, se considera los datos reales de temperatura y radiación presentes en la zona, además se debe calcular los nuevos valores de referencia a partir del panel solar, estos son: I_{scref} , V_{ocref} , A , V_{mref} , I_{mref} . Luego debemos definir las ecuaciones necesarias para las gráficas en ambas condiciones (STC y reales) de esta manera se visualizará de manera gráfica las curvas IV y PV, estas se definen la siguiente Tabla 12.

Tabla 12:
Ecuaciones para la obtención de parámetros del módulo fotovoltaico

Ecuaciones en condiciones STC	
$A_{ref} = \frac{V_{mref} + I_{mref} \times R_{s0} - V_{ocref}}{\left[\ln \left(I_{scref} - \frac{V_{mref}}{R_{shref}} - I_{mref} \right) - \ln \left(I_{scref} - \frac{V_{ocref}}{R_{shref}} \right) + \left(\frac{I_{mref}}{I_{scref} - \frac{V_{ocref}}{R_{shref}}} \right) \right]}$	(7)
$I_{oref} = \left(I_{scref} - \frac{V_{ocref}}{R_{shref}} \right) \times \exp \left(\frac{-V_{ocref}}{A_{ref}} \right)$	(8)
$R_{shref} = R_{s0} - \frac{A_{ref}}{I_{oref}} \times \exp \left(\frac{-V_{ocref}}{A_{ref}} \right)$	(9)
Ecuaciones en condiciones reales	
$A = A_{ref} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)$	(10)
$I_0 = I_{oref} \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \times \exp \left[\frac{E_g N_s}{A_{ref}} \left(1 - \frac{T_{ref}}{T} \right) \right]$	(11)
$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} [I_{phref} + \alpha(T - T_{ref})]$	(12)
$R_{sh} = R_{shref} \left(\frac{G_{ref}}{G} \right)$	(13)
$V_{oc} = V_{ocref} - \beta(T_{ref} - T)$	(14)

Fuente: Rahmani, Seddaoui, Kessal, & Chauder, 2011. "Parameters Extraction of Photovoltaic module at reference and real conditions"

En la Tabla 12 se aprecia las ecuaciones para las graficas en condiciones reales como en condiciones STC o estándar , donde las ecuaciones reales dependerán de las ecuaciones estándar para su implementación, el poder desarrollar estas ecuaciones para la obtención de las gráficas por si solas es un trabajo extenso y laborioso, con lo cual estas mismas ecuaciones se

representarán en un programa de lenguaje de alto nivel para el cálculo numérico y la visualización de los datos en la grafica de la curva IV , para ello se considero el software Matlab.

A continuación se hace el cálculo para los valores de referencia a partir de los datos del panel fotovoltaico en la Tabla 13.

Tabla 13:
Datos de Panel Fotovoltaico

Módulo 400 w	
Marca	ERASOLAR
Vnom	24 v
Vpm	41.7 V
Vos	49.8 v
Ipm	9.6 A
Isc	10.36 A
Eficiencia	20.17 %
Dimensiones	1979x1002x 40mm

Fuente: Elaboración Propia

- **Iscref: corriente de cortocircuito (A)**

Para el cálculo se considero primero hallar el área de la celda, se tiene la Ecuación 7 :

$$\text{área de celda} = \frac{\text{área de panel}}{N^{\circ}\text{celdas}} \quad (7)$$

$$= 19829.58 \text{ cm}^2 / 72$$

$$= 275.410 \text{ cm}^2$$

Luego, en la Ecuación 8:

$$I_{scref} = \frac{I_{scPanel}}{\text{área}} \quad (8)$$

$$= 10.36 / 275.410$$

$$= 0.0376 \text{ A/cm}^2$$

- **Vocref: voltaje de circuito abierto**

$$V_{ocref} = \frac{V_{ocPanel}}{\text{área}} \quad (9)$$

$$= 49.8 / 72$$

$$= 0.6916 \text{ V}$$

- **Cálculo de A (factor ideal)**

$$A = nxVT \quad (10)$$

$$= 1x \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 0.02588$$

- **Cálculo de Vmref: voltaje máximo de referencia**

$$V_{mref} = \frac{V_{pm \text{ Panel}}}{N^{\circ} \text{ celdas}} \quad (11)$$

$$= 41.7 / 72$$

$$= 0.5791 \text{ V}$$

- **Cálculo de Imref : Corriente máxima de referencia**

$$\begin{aligned}
 I_{mref} &= \frac{I_{pm \text{ Panel}}}{\text{área de la celda}} && (12) \\
 &= 9.6 / 275.410 \text{ cm}^2 \\
 &= 0.034 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Una vez hallado los valores que se necesitan, ahora se procede a hacer la programación en el entorno de Matlab para la obtención de la curva IV.

a) Código Matlab

```

T=300; %temperatura en condiciones reales%
G=1000; %irradiancia en condiciones reales%

Tref=300; %temperatura en condiciones estándar o STC%
Gref=1000; % irradiancia en condiciones estándar o STC%
alpha=0.02973; %coeficientes de temperatura del panel solar(
datasheet)%
beta=-0.38038;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Eg=1.14;% energía de la banda prohibida (silicio)%
Ns=1; % número de Celdas

Ipvref=0.06; %corriente de referencia)%
Rs0=1.2; %resistencia en serie%
Rsh0=200; %resistencia en paralelo%

Imref=0.034; %corriente máxima del panel solar%
Vmref=0.5791; %voltaje máxima del panel solar%
Vocref=0.6916; %voltaje en circuito abierto%
Iscref=0.0376; %corriente en cortocircuito%

Vd=0:1e-3:0.8; %vector para el voltaje%
s=size(Vd);
Ipvref;

%STC definición de ecuaciones para condiciones STC o referencia

Rshref=Rsh0; % resistencia en paralelo
Aref=(Vmref+Imref*Rs0-Vocref)/... % factor ideal
(log(Iscref-(Vmref/Rshref)-Imref)-...
log(Iscref-Vocref/Rshref)+...
(Imref/(Iscref-Vocref/Rshref)));
    
```

```

I0ref=(Iscref-Vocref/Rshref)*exp(-Vocref/Aref); % corriente de
saturación
Rsref=Rs0-(Aref/I0ref)*exp(-Vocref/Aref); % resistencia en serie

%REAL definición de ecuaciones para condiciones reales

A=Aref*(T/Tref); % factor ideal modificado
I0=I0ref*( (T/Tref)^3)*exp((Eg*Ns/Aref)*(1-Tref/T)); % corriente de
saturación
Ipv=(G/Gref)*(Ipvref+alpha*(T-Tref)); % fotocorriente
Rs=Rsref; % resistencia en serie
Rsh=Rshref*(Gref/G); % resistencia en paralelo
Isc=Iscref*(G/Gref); % corriente de cortocircuito en condiciones
reales
Voc=Vocref-beta*(Tref-T); % voltaje de circuito en condiciones
reales

for n=1:s(2) % ciclos interactivos para valores de curva IV en STC
%
    for i=1:10
        Id1 = Ipvref-I0ref*exp((Vd(n)+I(i)*Rsref)/Aref)-
((Vd(n)+I(i)*Rsref)/Rshref)-I(i);
        dId1 = 0-(Rsref/Aref)*I0ref*exp((Vd(n)+I(i)*Rsref)/Aref)-
(Rsref/Rshref)-1;
        I(i+1)=I(i)-Id1/dId1;
    end
    Id(n)=I(end);
end

I=Ipvref;
n=0;
i=0;

for n=1:s(2) % ciclos interactivos para valores de curva IV en
condiciones reales
    for i=1:10
        Id1 = Ipv-I0*exp((Vd(n)+I(i)*Rs)/A)-((Vd(n)+I(i)*Rs)/Rsh)-
I(i);
        dId1 = 0-(Rs/A)*I0*exp((Vd(n)+I(i)*Rs)/A)-(Rs/Rsh)-1;
        I(i+1)=I(i)-Id1/dId1;
    end
    Id2(n)=I(end);
end

[valt,post]=min(sqrt(Id.*Id));
Id=Id(1:post);
Vd=Vd(1:post);
Id2=Id2(1:post);

P=Vd.*Id; % potencias para STC
P2=Vd.*Id2; % potencias para condiciones reales
plot(Vd,Id,Vd,Id2,Vd,P,Vd,P2)

```

```

% grafica de las curvas y leyendas
[val,pos]=max(P);
Imax=Id(pos);
Vmax=Vd(pos);
Pmax=P(pos);
slope1I=[Id(1) Id(150)];
slope1V=[Vd(1) Vd(150)];
slope2I=[Id(end-80) Id(end)];
slope2V=[Vd(end-80) Vd(end)];

slope3I=[0 Imax];
slope3V=[0 Vmax];

hold on

plot(slope1V,slope1I,'lineWidth',2)
plot(slope2V,slope2I,'lineWidth',2)
plot(slope3V,slope3I,'lineWidth',2)

grid on

Rshc=-1/((slope1I(2)-slope1I(1))/(slope1V(2)-slope1V(1)));
Rsc=-1/((slope2I(2)-slope2I(1))/(slope2V(2)-slope2V(1)));
RLc=1/((slope3I(2)-slope3I(1))/(slope3V(2)-slope3V(1)));

title('Curva IV Celda Solar')
xlabel('Voltaje')
ylabel('Corriente/Potencia')
legend('IV Curva STC','IV Curva Real','Potencia STC','Potencia
real',...
['Rsh= ' num2str(Rshc) ' Ohms'],...
['Rs= ' num2str(Rsc) ' Ohms'],...
['RL= ' num2str(RLc) ' Ohms'])

```

El código presentado sirve para la obtención de las curvas IV de cualquier panel y cualquier sistema fotovoltaico, en este caso se está obteniendo la gráfica a partir de los datos del panel solar con el que se está trabajando.

Los datos de entrada que debemos considerar para la obtención de la curva IV, son la irradiancia(G) y la temperatura(T) que existe en Arcata. A continuación se muestra el diagrama de flujo del código Matlab.

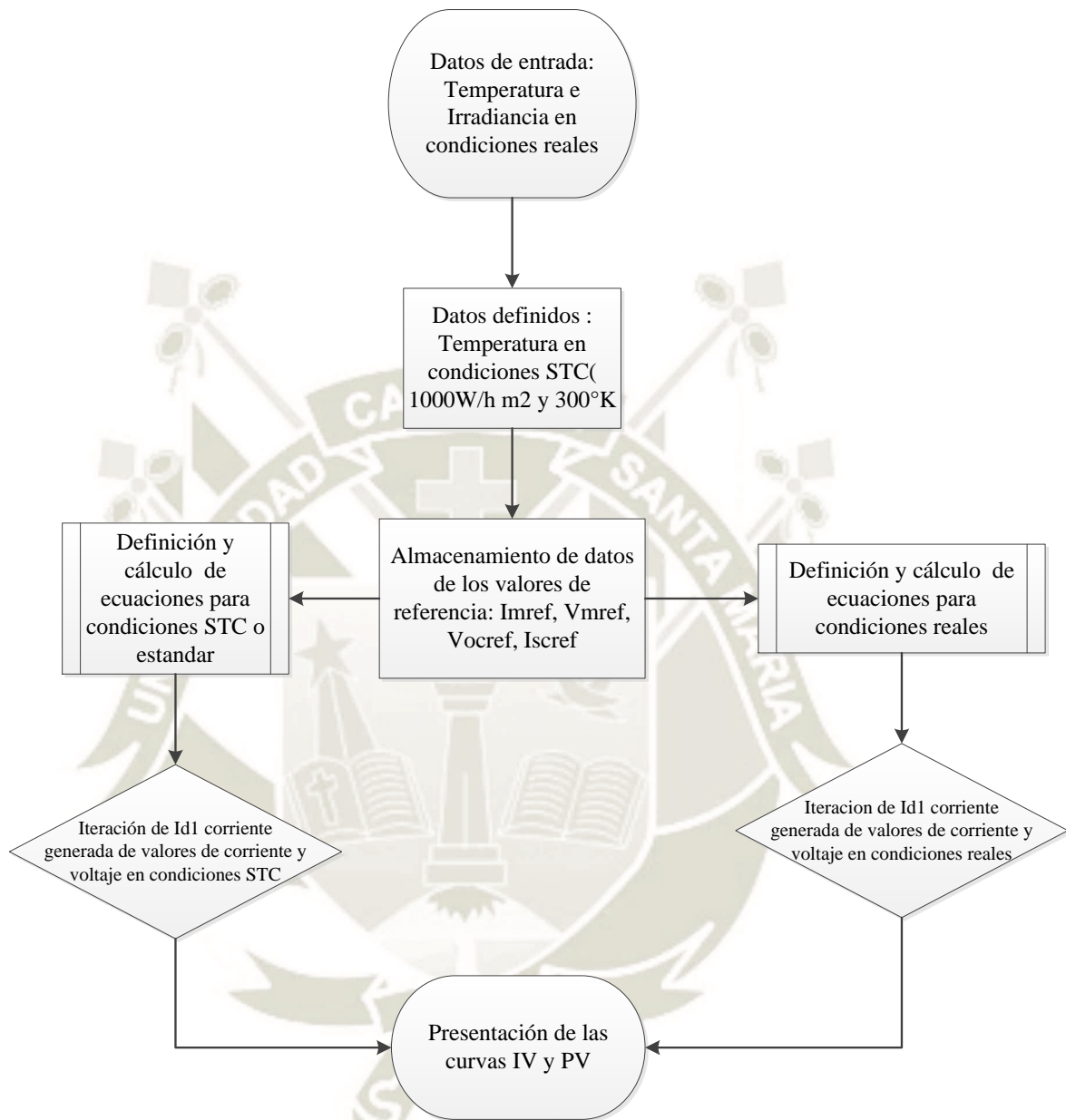


Figura 37. Diagrama de Flujo de Código en Matlab para las Curvas IV y PV

A continuación analizaremos el comportamiento de la curva IV y PV por variación de irradiancia y temperatura presentes en la zona de Arcata.

b) Comportamiento de la curva IV y la curva PV por variación de irradiancia

A medida que el valor de radiación incrementa, la corriente de cortocircuito crece de manera proporcional y viceversa, la resistencia en serie tiene un valor muy pequeño y por ello se puede decir que la corriente foto generada es igual a la corriente de cortocircuito y por lo tanto la irradiancia afecta principalmente a la corriente de cortocircuito (Cata Sanchez & Rodríguez Sócola, 2015).

Average hourly profiles
Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6										91	207	76
6 - 7	379	288	255	315	282	150	139	272	518	587	669	477
7 - 8	514	452	509	643	774	761	722	753	750	745	825	623
8 - 9	586	545	610	737	887	882	840	867	833	837	902	719
9 - 10	611	574	646	770	921	935	886	916	856	861	901	741
10 - 11	610	580	653	763	922	951	901	921	837	830	850	711
11 - 12	644	574	644	729	886	932	890	891	768	745	777	662
12 - 13	551	553	605	672	836	882	863	845	703	642	674	537
13 - 14	461	460	499	556	769	830	822	770	630	529	570	432
14 - 15	359	326	372	449	694	762	767	679	562	468	520	345
15 - 16	250	235	286	381	655	705	705	608	537	462	498	285
16 - 17	200	174	233	266	302	320	323	427	380	435	458	260
17 - 18	101	89	57									61
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	5266	4849	5369	6281	7927	8111	7859	7948	7375	7232	7852	5929

Figura 38. Perfiles Por Hora Promedio de Irradiación Normal Directa en Arcata

Fuente: www.senamhi.gob.pe y Atlas Solar

En la Figura 38 se visualiza las horas promedio de irradiación directa (Wh/m²) por cada mes, y podemos definir el mes o meses donde existe una mayor radiación, es decir en condiciones optimas o favorables : junio, julio y agosto, ya que tienen un promedio de radiación directa de : 8111 Wh/m², 7859 Wh/m² y 7948 Wh/m² y los meses donde la radiación presenta

niveles bajos o en condiciones extremas : enero y febrero con 5266 Wh/m^2 y 4849 Wh/m^2 . Para ello tomamos algunos datos en ambos casos, a continuación se muestra las curvas IV:

- En condiciones favorables:
 - G= 951 W/m^2 , (irradiancia)
 - T= 25°C , (temperatura)

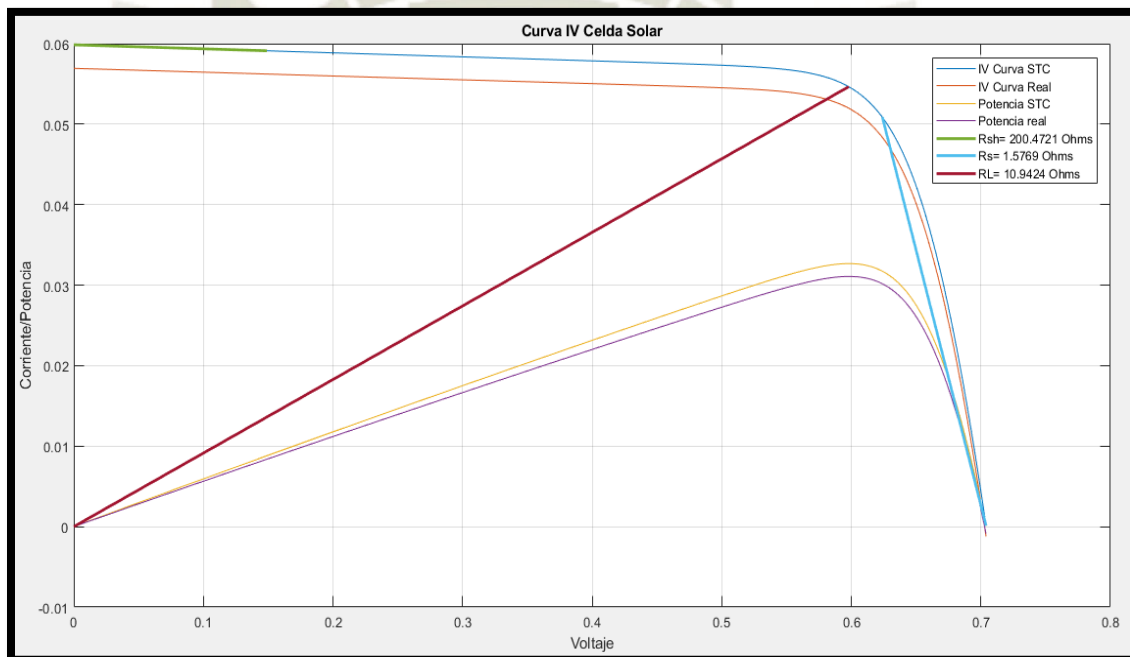


Figura 39. Curva IV para $G=951 \text{ W/m}^2$ y $T=25^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia

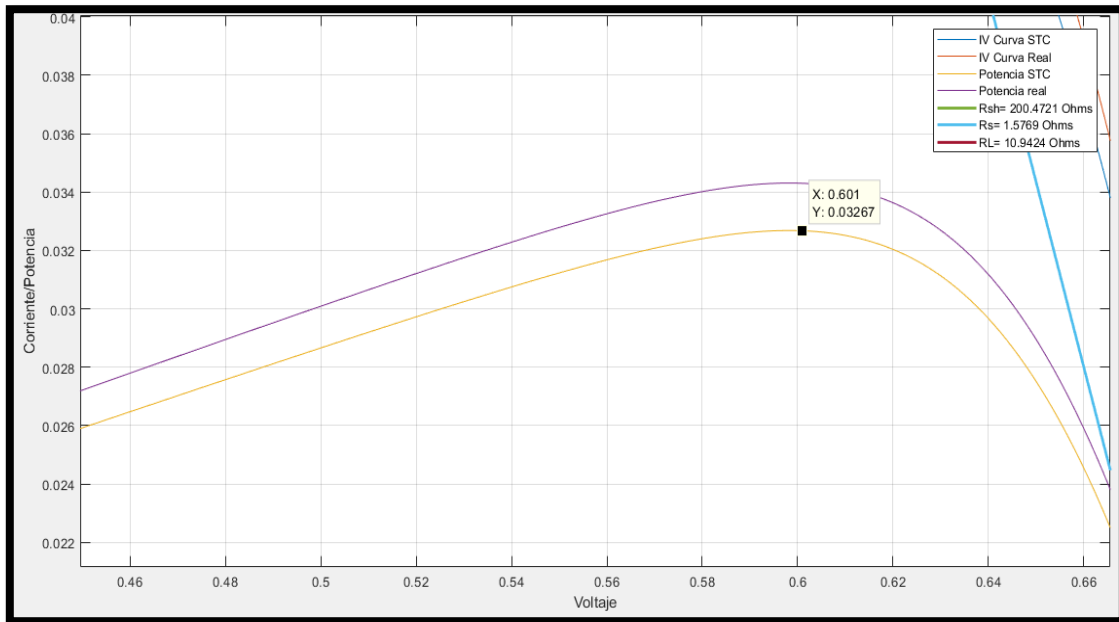


Figura 40. Curva PV para $G=951 \text{ W/m}^2$ y $T=25^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia

- $G= 882 \text{ W/m}^2$, (irradiancia)

- $T= 25^\circ\text{C}$, (temperatura)

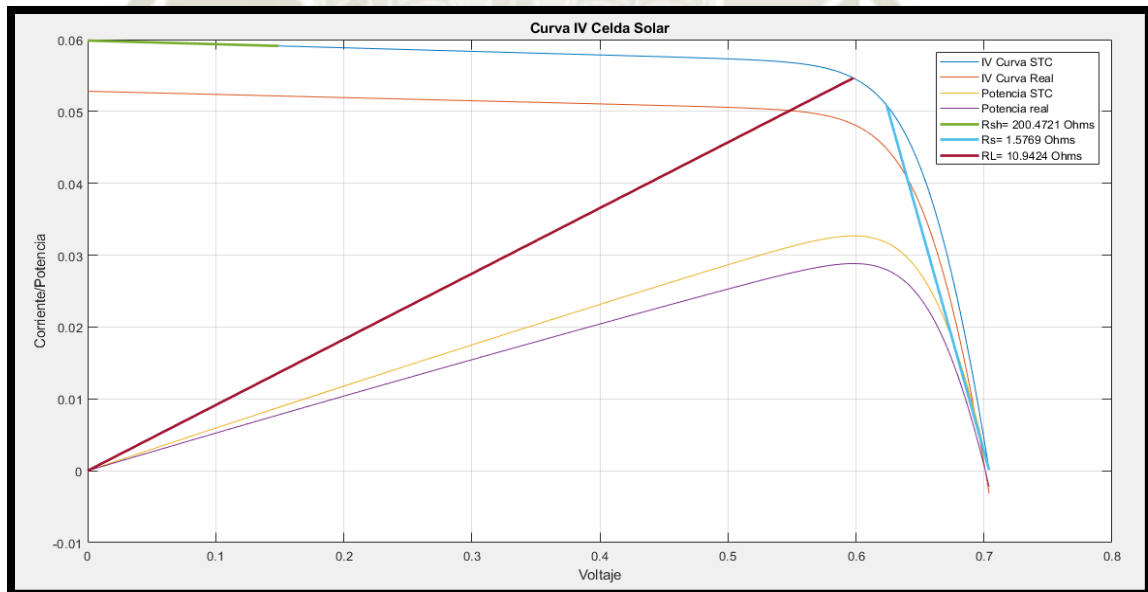


Figura 41. Curva IV para $G=882 \text{ W/m}^2$ y $T=25^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia

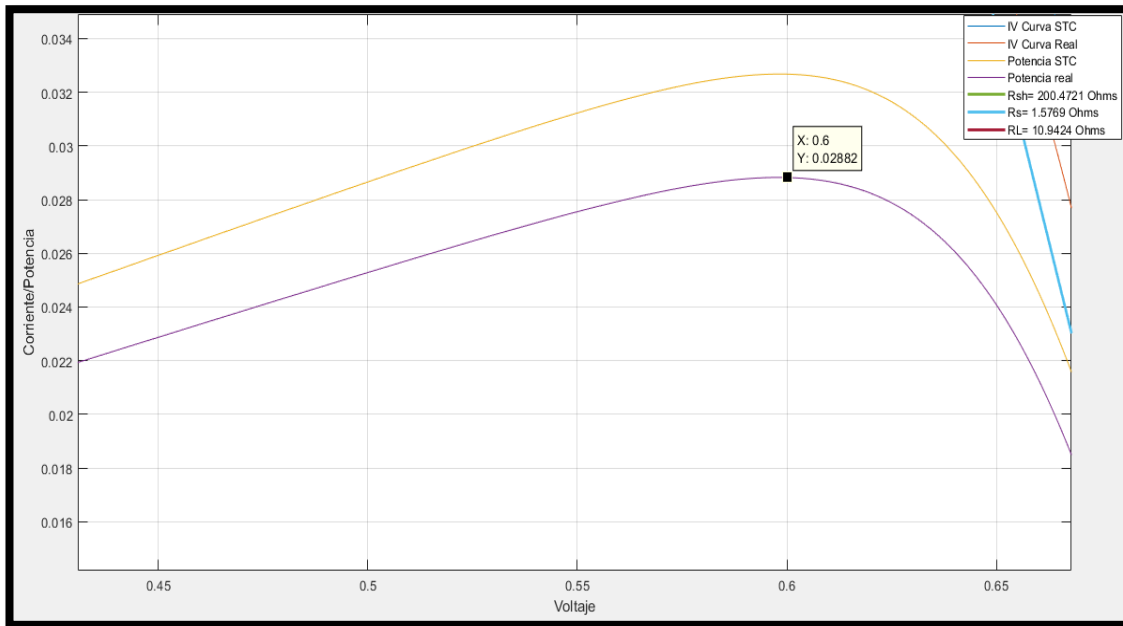


Figura 42. Curva PV para $G=882 \text{ W/m}^2$ y $T=25^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia

- En condiciones extremas:
- $G=400 \text{ W/m}^2$
- $T=25^\circ\text{C}$

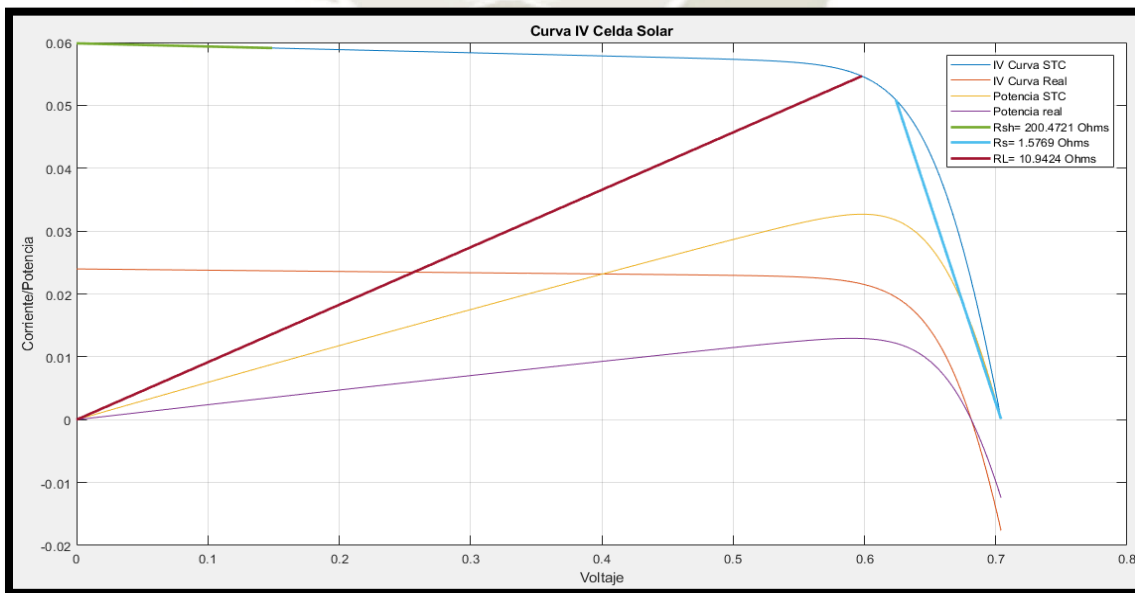
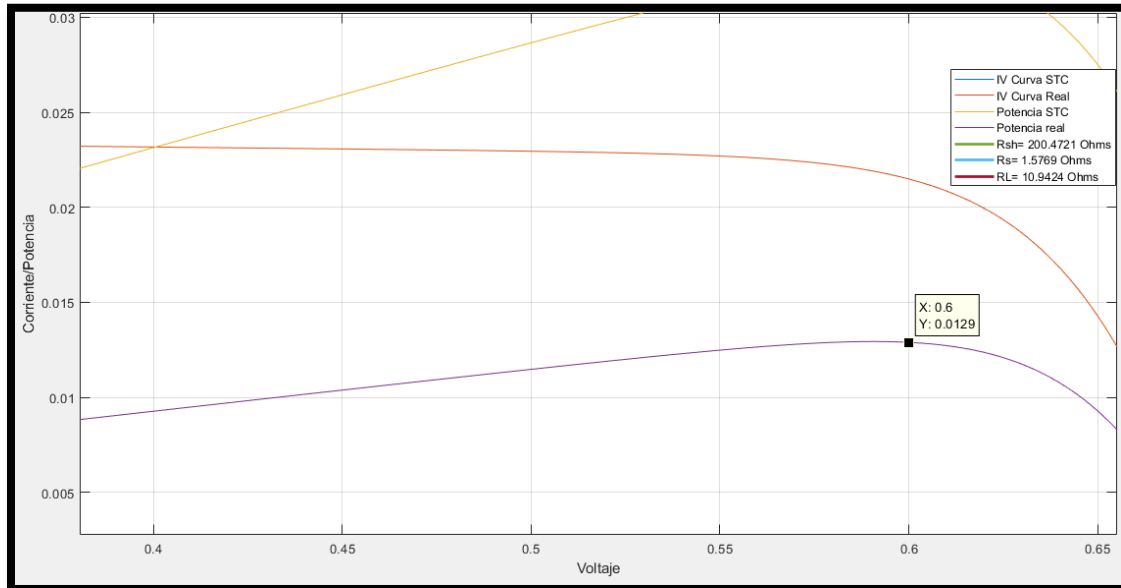


Figura 43 .Curva IV para $G=400 \text{ W/m}^2$ y $T=25^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia



*Figura 44. Curva PV para $G=400 \text{ W/m}^2$ y $T=25^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia*

Como se mencionó anteriormente la corriente de corto circuito se incrementara si la radiación incidente incrementa y decrecerá si la radiación es baja o nula, en los gráficos se puede analizar que para condiciones favorables la curva IV con datos de radiación elevados se mantiene cerca al valor de la curva IV en condiciones estándar (STC: 1000W/m^2 , 25°C), mientras que para condiciones extremas, donde el dato de radiación es menor, la curva IV esta por muy por debajo de la curva IV en condiciones estándar, lo cual nos da a entender que en esos lapsos de tiempo pueden existir limitaciones de radiación solar para alimentar el sistema de paneles solares. Para la curva PV se concluye también que a mayor irradiancia se obtiene mayor potencia.

c) Comportamiento de la curva IV y la curva PV por variación de Temperatura

A medida que el valor de la temperatura incrementa, el voltaje de circuito abierto decrece, y si la temperatura baja el voltaje de circuito abierto aumenta. La corriente de cortocircuito incrementa de manera ligera para valores mayores de temperatura, esto se debe a que la banda de energía (Band Gap) del material fotovoltaico decrece ligeramente con la temperatura ya que se crea mayor movimiento de electrones, esto se puede explicar por el coeficiente de temperatura que ofrece el fabricante en la hoja de datos del panel y con lo cual la corriente de cortocircuito varia de manera creciente.

Se tiene para diferentes valores de temperatura en la Tabla 14:

Tabla 14:
Temperatura Máxima y Mínima en Arcata

	En.	Febr.	Mzo	Abr.	My	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Temp Min °C	15°	13°	14°	13°	13°	10°	6°	7°	8°	7°	8°	9°
Temp Max °C	25°	25°	24°	25°	25°	25°	22°	22°	23°	25°	24°	25°
Nubes	11%	11%	13%	24%	46%	60%	68	60%	50%	30%	26%	14%

Fuente: www.accuweather.com/es/pe/arcata

Como se puede apreciar en la Tabla 14, las diversas temperaturas a lo largo del tiempo en los diferentes meses, depende mucho del factor climático, como la presencia de nubes o lluvias,

lo cual puede repercutir en la absorción de energía solar por parte de los paneles solares, por lo tanto el comportamiento del curva IV y la PV variará definitivamente.

- Temperaturas máximas:

-G=1000

-T=20°C

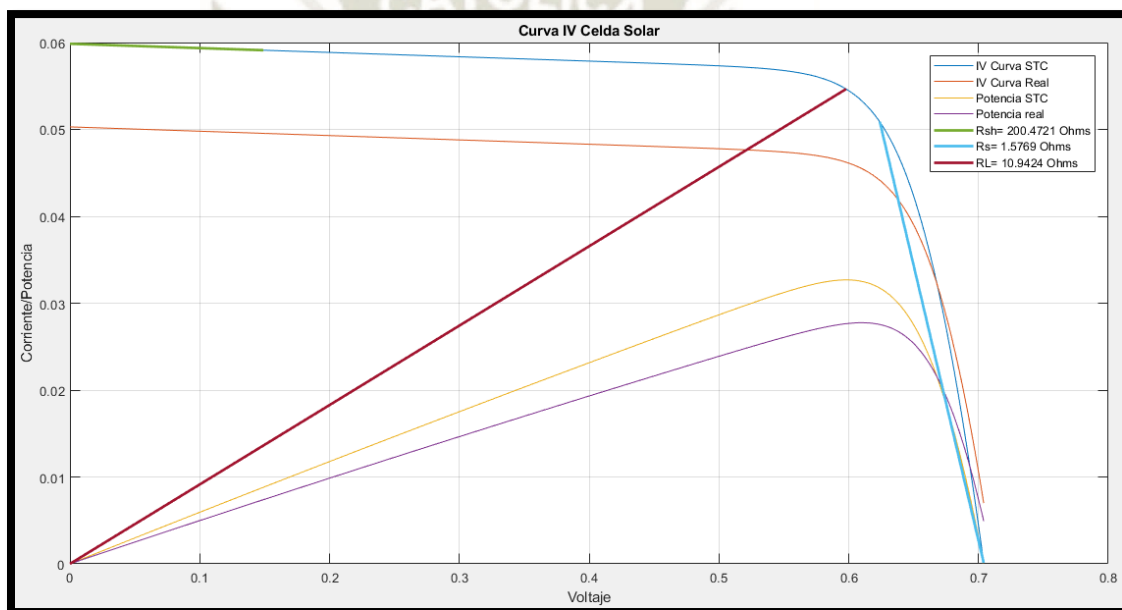


Figura 45. Curva IV para $G=1000 \text{ W/m}^2$ y $T=20^\circ \text{ C}$
Fuente: Elaboración Propia

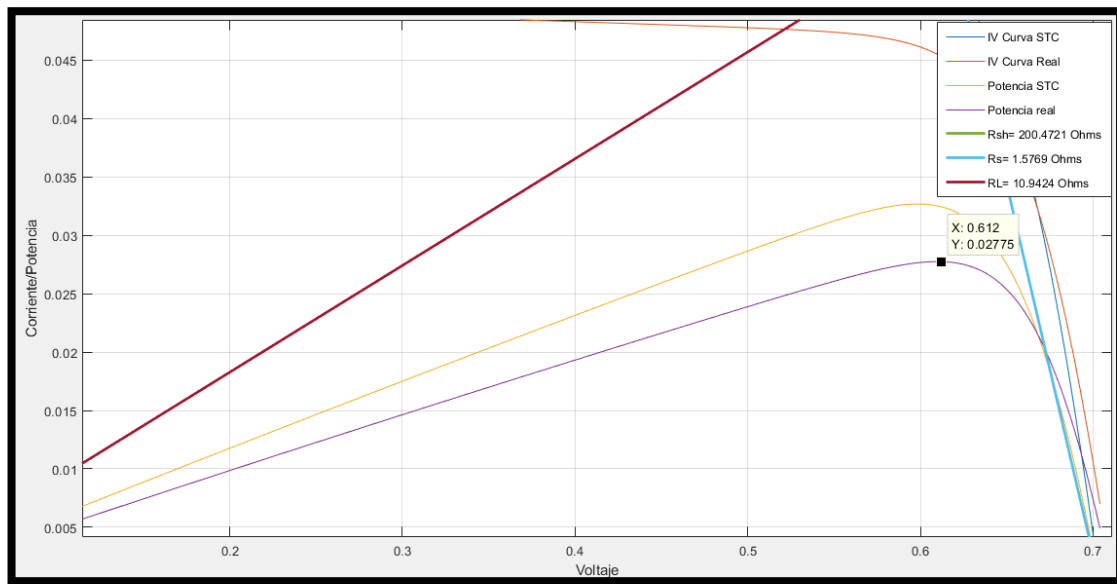


Figura 46. Curva PV para $G=1000 \text{ W/m}^2$ y $T=20^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia

- Temperaturas mínimas :

-G= 600

-T= -1°C

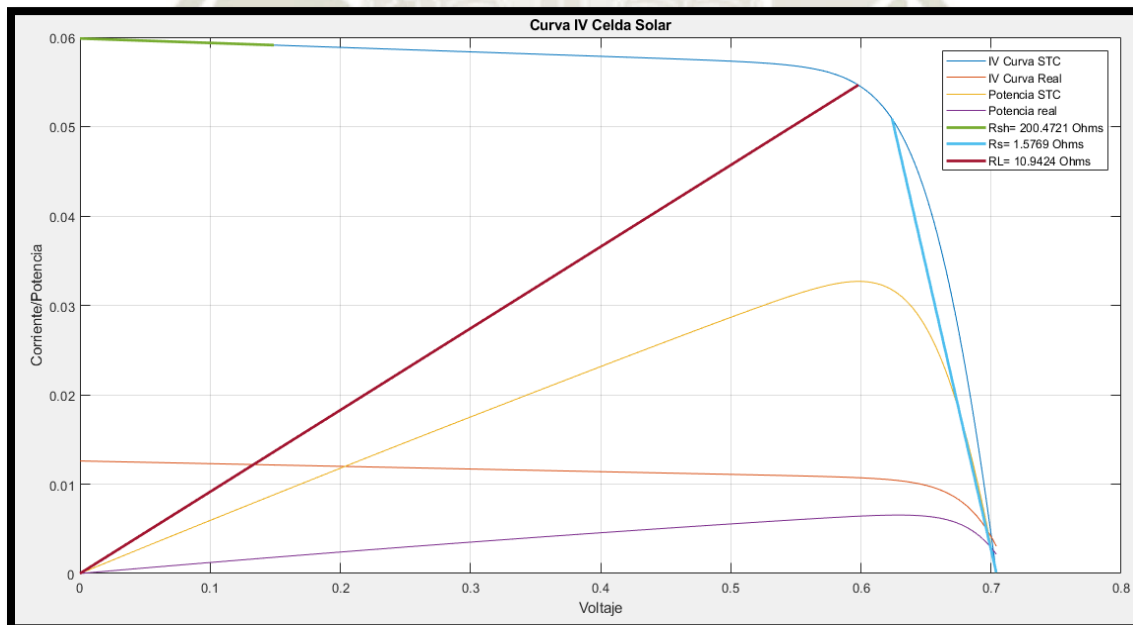


Figura 47. Curva IV para $G=600 \text{ W/m}^2$ y $T= -1^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia

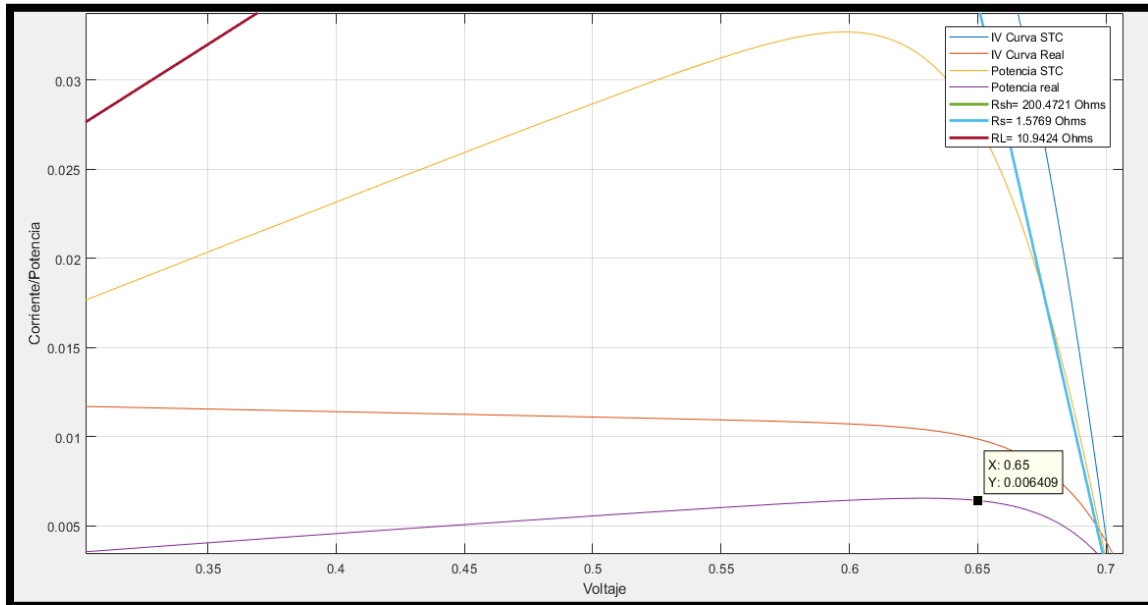


Figura 48. Curva IV para $G=600 \text{ W/m}^2$ y $T= -1^\circ \text{ C}$
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 48, claramente se puede visualizar que a temperaturas mínimas, la curva IV y PV están muy por debajo de las curvas en condiciones estándar. Esto supondría que cuando existe una radiación y temperaturas extremas las pérdidas de energía son casi inevitables, sobre todo en los meses de enero, febrero y marzo donde el clima es adverso y la radiación es mínima.

Tomando los datos referentes en este análisis previo en la siguiente sección se analizará el comportamiento de las curvas IV para el sistema fotovoltaico.

3.2 . Diseño de la planta fotovoltaica

3.2.1. Introducción

Luego de realizar el cálculo de la energía de demanda de cada carga se procederá a realizar el cálculo de los paneles para el diseño de la planta solar fotovoltaica, así como los demás equipos necesarios a utilizar en la etapa de generación y en la etapa de distribución, así como también los cálculos respectivos de producción del sistema y punto de energía.

3.2.2. Celda fotovoltaica

El módulo o panel que se va a utilizar será el panel solar monocristalino de la marca ERA, según el tipo de tecnología, la celda del tipo monocristalino es de mayor eficiencia frente a otras tecnologías y es una buena opción para una instalación de máxima potencia en menor espacio. La Figura 49 muestra las características de la celda fotovoltaica, la descripción del módulo se detalla a continuación.



Figura 49: Características de la Celda Fotovoltaica

Fuente : <https://autosolar.es/pdf/ERA-Mono-PERC-400W.pdf>

Esta serie de módulos cumple con la norma técnica, entre otras pruebas, los módulos han sido sometidos a 200 ciclos frío-calor de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$, ensayos de carga mecánica, así como pruebas de resistencia al granizo, lluvia u otras inclemencias del clima. El módulo, requiere de elementos complementarios como son:

- **La caja de conexiones**

Frente a inclemencias del clima, la caja de conexiones debe de disponer de una certificación, que debe proveer al sistema de un buen aislamiento frente a la humedad. La caja de conexiones dispone de protección IP68, de los que salen unos 90 cm de cable conectores tipo MC4 en sus extremos para facilitar la conexión de los paneles.

- **Cables**

Para las minimizar las perdidas en los módulos debido a las caídas de tensión, los cables son cables asimétricos en longitud, con una sección de diámetro de cobre de 4mm ,además de poseer una resistencia de contacto muy baja. El cable adecuado es del tipo TWD-UV, ya que este cable está diseñado para sistemas fotovoltaicos por su alta resistencia a la luz solar, además de que cumplen con todos los requerimientos (Norma peruana y Clase II TÜV), tanto de flexibilidad, como de doble aislamiento, o alta resistencia a los rayos UV.

- **Características operativas del módulo**

Se describen a continuación las características típicas del módulo. Estas están referidas a un módulo europeo en condición referencial. Puede ser otra marca que cumpla con características similares, se tiene la ficha técnica descrita, esta misma se puede visualizar

en la hoja de datos del módulo solar, la Tabla 15 nos muestra las especificaciones técnicas del módulo.

Tabla 15 :
Especificaciones técnicas del Módulo solar

Módulo 400 w	
Marca	ERASOLAR
Vnom	24 v
Vpm	41.7 V
Vos	49.8 v
Ipm	9.6 A
Isc	10.36 A
Eficiencia	20.17 %
Dimensiones	1979x1002x 40mm

Fuente : Elaboración Propia

- **Curvas eléctricas - Curva IV**

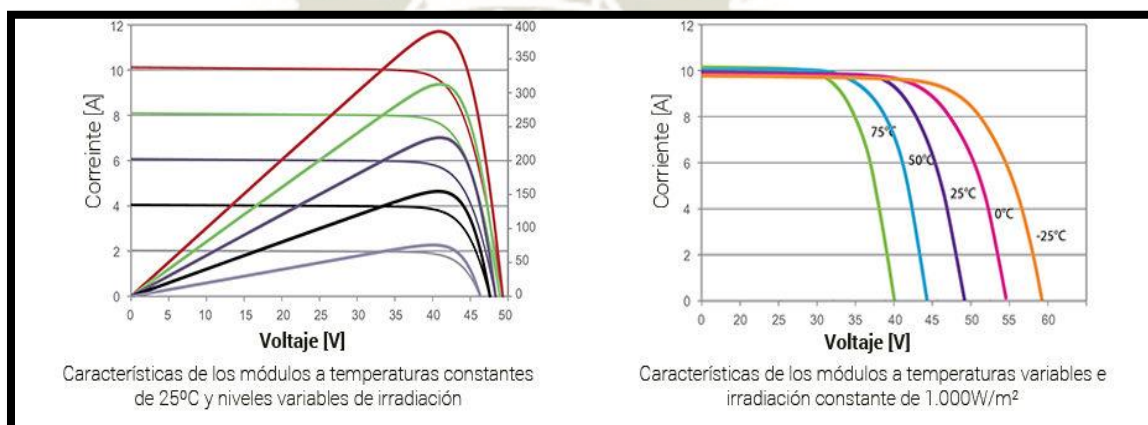


Figura 50: Curva Característica de I-V del panel Fotovoltaico Marca ERA

Fuente : Fabricante (ERASOLAR).

El estándar internacionalmente aceptado para medir respuestas de paneles fotovoltaicos es una intensidad radiante de 1000 W/m^2 , y una temperatura de la célula de 25°C . Estas condiciones se obtienen mediante una simulación en laboratorio, mediante un simulador solar (lámparas que emiten un espectro luminoso muy similar al del sol) por obvias razones no siempre las condiciones de trabajo reales de los paneles instalados llegan a ser los mismos que los de laboratorio.

3.2.3. Cálculo del número de paneles solares

En esta parte se verá el dimensionamiento y el número de los paneles solares para el desarrollo de la planta solar fotovoltaica. Para el dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica, se tomó en consideración el consumo de las cargas finales: alumbrado público, familias del centro poblado, reabastecimiento de la propia planta y la municipalidad de la zona.

En el ítem 2.5.3 del capítulo 2, se calculó la potencia de consumo o demanda requerida, ahora se procederá a desarrollar la potencia de suministro de la planta solar fotovoltaica, y de esa manera lograr un balance energético entre ambas, hemos definido que cada carga será independiente de acuerdo a la potencia de demanda de cada carga y porque cada carga tiene una función principal y distinta, para ello hemos dividido en tres bloques o módulos: A, B y C, a continuación definiremos la capacidad de cada módulo como la capacidad total de la planta.

- **Módulo A**

Para el cálculo de número de paneles, se tomo en consideración el consumo por parte de la carga, para este caso será el alumbrado público, como ya se definió anteriormente, entonces se tiene que :

$$N^{\circ} \text{Paneles} = \frac{\text{Consumo en Wh/día}}{\text{Potencia de panel} \times \text{Horas efectivas} \times \text{Factor de seguridad}} \quad (13)$$

entonces :

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{Paneles} &= 62.720 / (400 * 4 * 0.66109) \\ &= 59.27 \end{aligned}$$

Para mejores condiciones de cálculo redondeamos la cantidad a 60, entonces tenemos 60 paneles en total ahora para hallar el número de paneles en serie y paralelo.

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{Paneles}(\text{serie}) &= \frac{\text{Voltaje de trabajo}}{\text{Voltaje de panel}} & (14) \\ &= 48 / 24 = 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{Paneles}(\text{paralelo}) &= \frac{N^{\circ} \text{Paneles}}{N^{\circ} \text{Paneles}(\text{serie})} & (15) \\ &= 60 / 2 = 30 \end{aligned}$$

Una vez calculado el número de paneles, procederemos a hacer la división o agrupamiento. Se tiene 6 grupos o sub módulos, donde cada uno dispone de 10 paneles, cada panel es de 24 voltios, por ejemplo en el grupo A1, dos paneles están conectadas en serie y los demás están en paralelo, dando un total de 48 voltios de salida y lo mismo sería para los demás

grupos A2, A3, A4, A5 y A6, es decir el voltaje entregado por el módulo A es de 48 voltios que este será el voltaje de referencia de entrada para el inversor y los reguladores de voltaje.

El motivo por el cual se hizo esta división en sub módulos, es por el hecho de que se necesitaría un cableado más adecuado para la instalación y una menor caída de tensión, con lo cual esta división es la adecuada para ello, si todo sería agrupado el cableado sería más grueso y la caída de tensión mucho mayor, la Figura 51 muestra el diagrama de conexiones final.

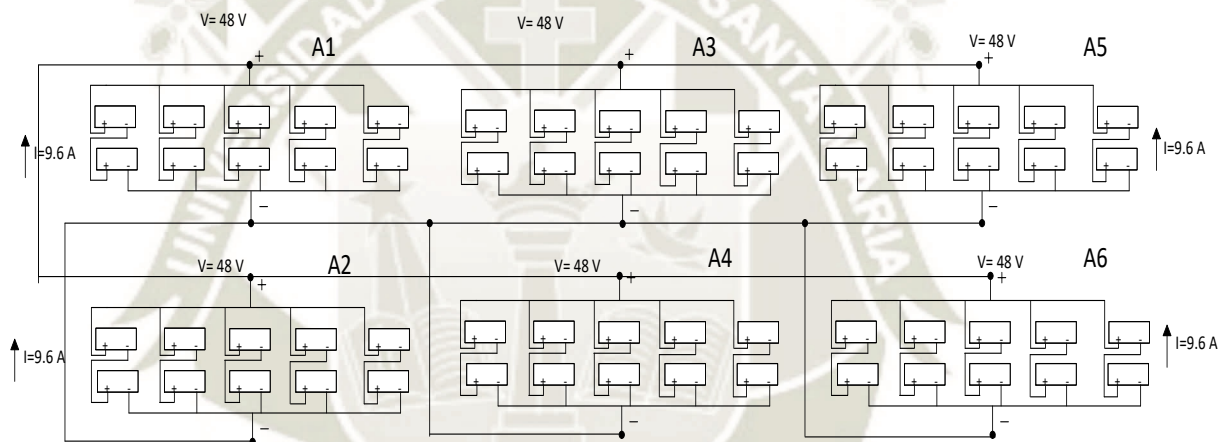


Figura 51: Diagrama de Conexiones del Arreglo de Paneles para Módulo A
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente son 6 grupos o sub módulos, donde cada sub módulo tiene 10 paneles en total, 2 x 5, de esta manera cada sub módulo entrega 48 V, y una capacidad de 24000 Watts y una corriente de 500 A.

A continuación se presenta la grafica de la curva IV del módulo A:

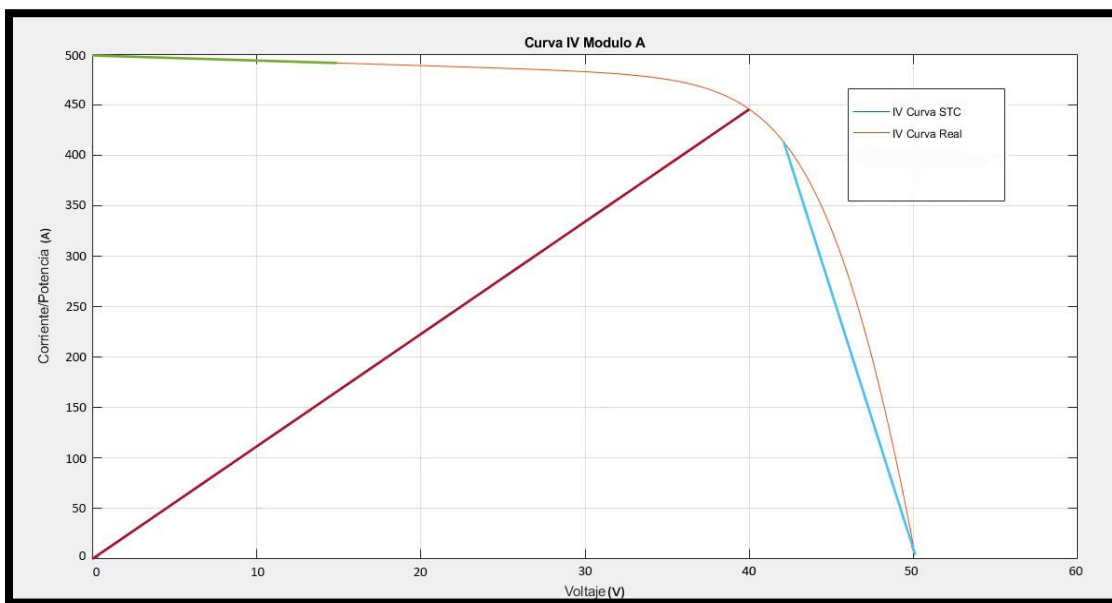


Figura 52: Curva IV del Módulo A

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 52 demuestra una curva IV en óptimas condiciones, es decir donde no existe pérdidas considerables por factores del clima: temperatura e irradiancia, la producción de energía eléctrica no se verá comprometida para alimentar las cargas finales.

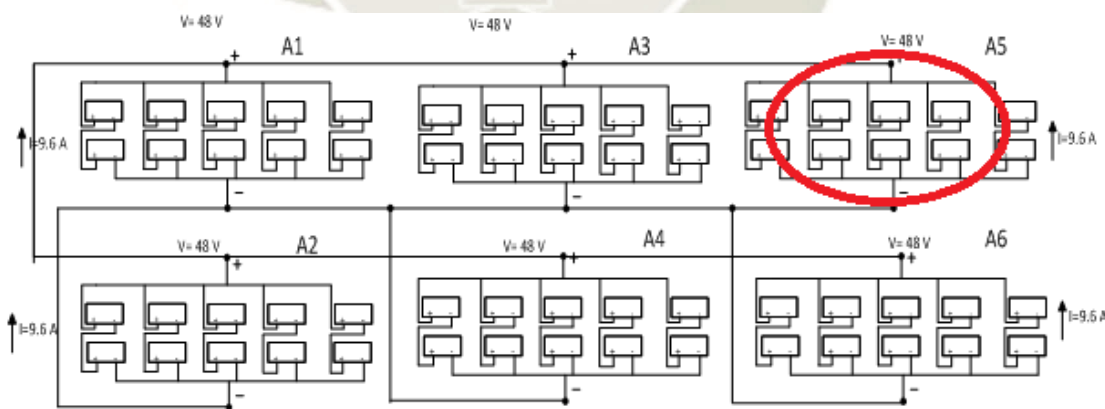


Figura 53: Pérdidas en el Sub Módulo A5

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 53 se da un caso distinto, en el cual se presenta perdidas en uno de los sub módulos de A, debido a esto los valores de corriente y potencia varían, las perdidas pueden darse por las condiciones del clima, como por condiciones internas de los equipos. Se tienen los siguientes datos, para una determinada hora del día :

- $G=800 \text{ W/m}^2$

- $T=25^\circ\text{C}$

- corriente por sub módulo = $500 \text{ A} / 6 \text{ sub módulos} = 83.33 \text{ A}$ por sub módulo

Suponiendo que existe perdidas en el sub módulo A5, se tiene en la Figura 54

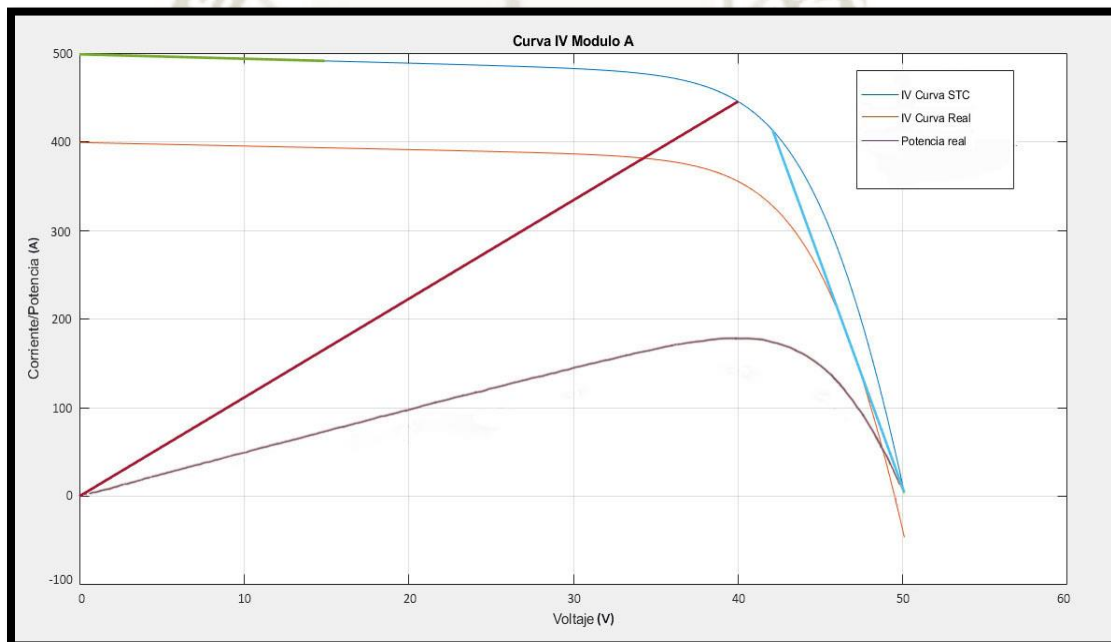


Figura 54: Gráfica de curva IV de Módulo A con Perdidas
Fuente: Elaboración Propia

En esta situación se ve claramente que la curva IV del módulo A disminuye respecto a la pérdida que existe en el sub módulo A5, y con esto la potencia también se reduce, donde hemos considerado que cada sub módulo teóricamente ofrece una corriente de 83.33 A y que solo 5

están en condiciones favorables, es decir : $5 \times 83.33A = 416 A$ y la potencia final o capacidad en ese instante de tiempo, nos ofrece:

$$P = 48 V \times 416 A = 19968 \text{ Watts}$$

Veamos ahora en otras condiciones extremas:

$$-G = 400 \text{ W/m}^2$$

$$-T = 20^\circ\text{C}$$

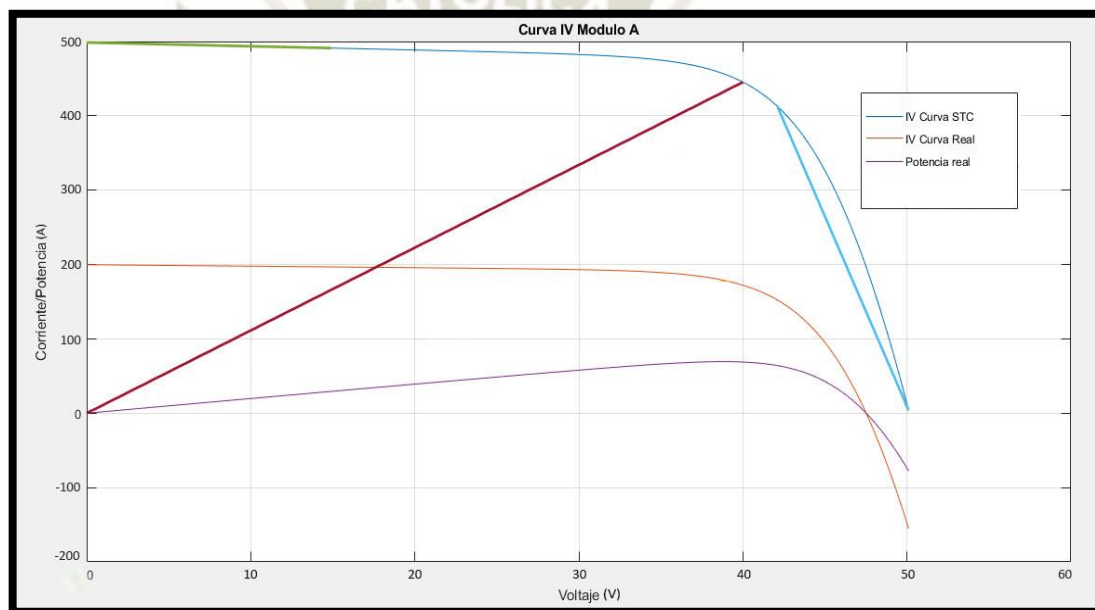


Figura 55: Gráfica de Curva IV con $G=400$ y $T=20^\circ\text{C}$
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 55 se aprecia la curva IV del sistema para condiciones cuando la radiación es demasiado baja, aquí la corriente y la potencia bajan considerablemente respecto a las condiciones favorables o STC. Donde la corriente alcanza un valor aproximado de 200 A y la potencia un valor relativamente bajo. En la Figura 55, claramente se puede visualizar que a temperaturas mínimas, la curva IV y PV están muy por debajo de las curvas en condiciones estándar. Esto supondría que cuando existe una radiación y temperaturas extremas las pérdidas

de energía son casi inevitables, sobre todo en los meses de enero, febrero y marzo donde el clima es adverso y la radiación es mínima, sin embargo se debe tener en cuenta que la demanda de energía por parte de las cargas o usuarios finales no se vea afectada, es decir que el tamaño y característica del sistema solar fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes como mínimo debe igualar a la demanda por las cargas especificadas según la norma peruana RD-003-2007-EM-DGE. Para ello haremos un cálculo con el peor mes donde las condiciones son mínimas: enero y febrero.

Tabla 16:
Producción mensual de energía para el mes de Enero en el módulo A

Consumo mensual de la planta solar fotovoltaica (kWh/mes)	Horas Efectivas	Hora (kWh)	Día (kWh/d)	Semana (kWh/Sem)	Mes (kWh/M)
672.0	5	2.7	64.8	453.6	1944

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 16 , el cálculo se hizo en base a 5 primeras horas del día, es decir de 6 am a 12 pm, donde la suma de las radiaciones nos entrega 2.7 kWh, este dato lo hemos obtenido de la Figura 38 donde se presentó los datos de las radiaciones presentes en la zona de Arcata, a partir de ahí se hizo el cálculo para el día y el mes respectivamente, y como se puede visualizar aun así, el valor de producción y radiación calculado en el mes de enero, es mayor que el consumo por parte de la planta solar fotovoltaica.

Tabla 17:
Producción mensual de energía para el mes de Febrero en el módulo B

Consumo mensual de la planta solar fotovoltaica (kWh/mes)	Horas Efectivas	Hora (kWh)	Día (kWh/d)	Semana (kWh/Sem)	Mes (kWh/M)
672.0	5	2.8	67.2	470.4	2016.0

u
Fuente: Elaboración Propia

De la misma manera, en la Tabla 17, se muestra que en las 5 primeras horas del día, de 6 am 12 pm, nos entrega una potencia de 2.8 kWh , se hizo el cálculo en día, semana y mes, donde la producción y radiación es mayor que el consumo de la planta solar fotovoltaica.

- **Módulo B**

Para el módulo B, se realiza de la misma manera que el módulo A, la potencia de consumo o demanda para la carga son las familias de Arcata, el consumo mensual por familia es de 70 kW aproximadamente, el cálculo se hizo para 24 familias, entonces tomando de referencia los datos anteriores, se tiene que para 24 familias el consumo diario será de 63.024, aplicando la Ecuación 13, para hallar el número de paneles, se obtiene :

$$= 63.024 / (400 * 4 * 0.66109)$$

$$= 59.58 , \text{ redondeamos a } 60 \text{ paneles}$$

Ahora aplicamos la Ecuación 7 y 8 para hallar los paneles en serie y paralelo

$$N^{\circ} \text{ paneles (serie) } = 48 / 24$$

$$= 2$$

$$N^{\circ} \text{ paneles (paralelo)} = 60/2$$

$$= 30$$

Al igual que en el módulo A, la división se hace de la misma forma. Por lo tanto cada sub módulo entrega 48 V, y tiene una capacidad de 24000 Watts y una corriente de 500 A, en la Figura 56 se muestra el esquema final.

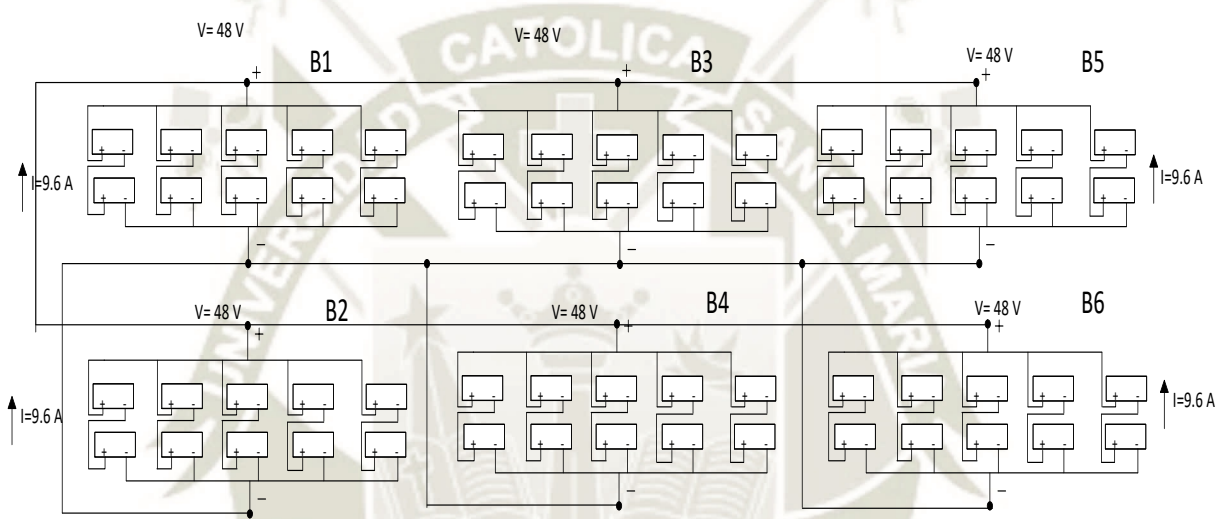


Figura 56: Diagrama de Conexiones del Arreglo de Paneles para Módulo B
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18:
Producción Mensual en el mes de Enero en el módulo B

Consumo mensual de las familias de Arcata (kWh/mes)	Horas Efectivas	Hora (kWh)	Día (kWh/d)	Semana (kWh/Sem)	Mes (kWh/M)
672.0	5	2.7	64.8	453.6	1944

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 18, se muestra que en las 5 primeras horas del día, de 6 am 12 pm, nos entrega una potencia de 2.7 kWh , este dato lo hemos obtenido de la Figura 38 donde se presentó los datos de las radiaciones presentes en la zona de Arcata, se hizo el cálculo en día, semana y mes, donde la producción y radiación es mayor que el consumo mensual por parte de las familias de Arcata.

Tabla 19:
Producción Mensual en el mes de Febrero

Consumo mensual de las familias de Arcata (kWh/mes)	Horas Efectivas	Hora (kWh)	Día (kWh/d)	Semana (kWh/Sem)	Mes (kWh/M)
672.0	5	2.8	67.2	470.4	2016

F
Fuente : Elaboración Propia

De la misma manera, en la Tabla 19, se muestra que en las 5 primeras horas del día, de 6 am 12 pm, nos entrega una potencia de 2.8 kWh , se hizo el cálculo en día, semana y mes, donde la producción y radiación es mayor que el consumo de la planta solar fotovoltaica es mayor que el consumo mensual por parte de las familias de Arcata.

- **Módulo C**

Este módulo se consideró para el municipio del pueblo de Arcata, como para el reabastecimiento de la planta, con lo cual se toma la energía requerida que es de 22.4 kWh/día

Aplicamos la Ecuación 13:

$$= 22.4 / (400 * 4 * 0.66109)$$

$$= 22 \text{ paneles}$$

Aplicamos la Ecuación 14:

$$= 48 / 24 = 2$$

Aplicamos la Ecuación 15:

$$= 24 / 2 = 12$$

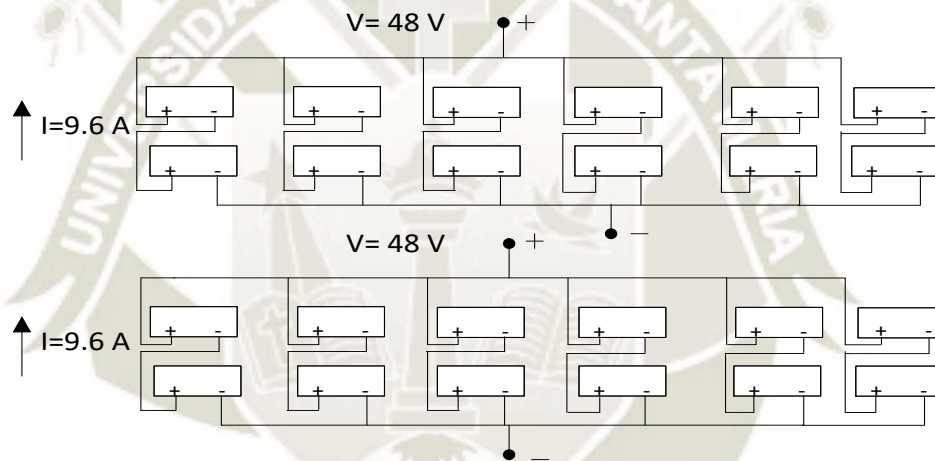


Figura 57: Diagrama de Conexiones del Arreglo de Paneles para Módulo C
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se tiene dos sub módulos, C1 y C2, cada uno entregara 48 voltios, una capacidad de 9600 Watts y una corriente de 115.2 A. (Figura 57), entonces sumando las potencias de los tres módulos, se tiene una capacidad total de: 57600 Watts. La Tabla 20 contiene el resumen de los voltajes, corrientes y potencias de los módulos. La estimación de la producción en condiciones extremas en el mes enero se da en la Tabla 21.

Tabla 20:
Voltaje, Corriente y Potencia de los Módulos Fotovoltaicas

Módulo	# de sub módulos	Paneles en paralelo	Paneles en serie	Corriente en mod	Voltaje en mod	Potencia en mod
A	6	30	2	83.33 A	48 V	24000 W
B	6	30	2	83.33 A	48 V	24000 W
C	2	12	2	57.6 A	48 V	8800 W

Fuente : Elaboración Propia

Tabla 21:
Producción Mensual en el mes de Enero

Consumo mensual del alumbrado Público (kWh/mes)	Horas Efectivas	Hora (kWh)	Día (kWh/d)	Semana (kWh/Sem)	Mes (kWh/M)
1881.6	5	2.8	67.2	470.4	1944

Fuente : Elaboración Propia

Según la Tabla 21, el consumo mensual del alumbrado público no excede la producción mensual que puede existir en el mes de enero, mes donde las condiciones climáticas y de radiación son menores respecto a otros meses, para ello las primeras 5 horas del día ofrece 2.8 kWh y en el mes 1944 kWh, lo cual cumple con la demanda exigida por la carga (alumbrado público)

3.2.4. Producción de energía del sistema solar fotovoltaico

A continuación se desarrolla y dimensiona la producción de la planta de acuerdo al dimensionamiento de los paneles, lo que se quiere obtener es una producción anual cercana a los 51.7 MW, para ello se ha desarrollado en la Tabla 22 la producción de la energía en kWh.

Tabla 22:
Producción de Energía de la Planta solar Fotovoltaica

Mod	Potencia por Panel	Nº Paneles	Horas Efectivas	FS	Hora (kWh)	Día (kWh/d)	Semana (kWh/Sem)	Mes (kWh/M)	Año (kWh/A)
A	400	60	4	0.66109	2.64	63.5	444	1,840	22,086
B	400	60	4	0.66109	2.64	63.5	444	1,840	22,086
C	400	24	4	0.66109	0.93	22.4	157	650	7,794
	57600	144	4	0.66109	6.22	149	1.045	4330	51,966

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 22, se tomo de manera general las horas efectivas y el factor de seguridad, donde las horas efectivas representan la incidencia de la radiación que existe en un día, esto puede variar de acuerdo a los diversos factores del clima que se pueden presentar, para lo cual 4 horas es el valor mínimo referencial aceptado para este tipo de instalaciones, mientras que para el factor de seguridad se considero tres cosas fundamentales:

Eficiencia del panel (0.85%), pérdidas por calentamiento térmica (0.85%) y envejecimiento del panel (0.915), todo estos datos definen el factor de seguridad, con esto ya tenemos definido el cálculo de la producción de la planta solar en día, mes y año, como se observa en la tabla teóricamente nos da 51.9 MWh/ anual, pero la realidad es que en la práctica ese valor puede variar por diversas condiciones, como interferencias en el sistema, factores climáticos, fallos en los equipos, incremento de la radiación, etc.

3.2.5. Regulador de voltaje

El equipo que se encarga de controlar el flujo de energía de voltaje y de corriente que existe entre las baterías y los módulos solares es el regulador de voltaje, además que el flujo de energía depende del estado de cargas de las baterías y de la energía que genera el campo fotovoltaico, el regulador dispone de tres estados de carga:

- Fase Bulk: cuando la batería esta descargada y la corriente que se produce en el campo solar fotovoltaico se inyecta en las baterías, de esta forma la tensión en la batería se incrementa mientras se va cargando.
- Fase Absorción: cuando el voltaje o tensión en la batería alcanza la tensión de absorción, el regulador tiene la función de mantener la tensión por debajo de dicho valor y reduce la corriente hasta que la batería está prácticamente llena.

Entonces se puede concluir que el regulador de carga es el dispositivo que protege nuestras baterías contra sobrecargas, otras funciones que podemos designar al regulador es que evita que la batería se descargue en la noche por inversión de corriente mediante un diodo tipo D y también nos muestra la información necesaria del estado del sistema como voltaje de baterías, corriente generada, históricos, estados de carga. (Carpio, 2020)

Lo que se busca para el sistema es un buen rendimiento por parte de los módulos fotovoltaicos por ello los reguladores de tecnología MPPT(detección del punto de máxima potencia) son los adecuados frente a otro tipo de reguladores como los PWM, debido a cuestiones de compatibilidad de la tensión del panel y baterías, como también la posibilidad de añadir más paneles en serie con un voltaje superior al banco de baterías, otra ventaja que

proporciona este tipo de regulador es que ofrece un mejor mantenimiento de las baterías ya que contienen algoritmos más avanzados para su carga y protección.

Para este sistema elegiremos el controlador Tristar MPPT de la gama Morningstar, ya que cuenta con una alta capacidad de detección del punto de máxima potencia (MPPT) para paneles fotovoltaicos que son independientes de la red eléctrica, las especificaciones técnicas se presenta en la Tabla 23 y la Figura 58 muestra el regulador.

a) **Para el módulo A y B:** la configuración se hizo para cada sub-módulo, en vez de un cargador único para todo un módulo, esto se hizo porque consideramos que si hubiera alguna falla de algún regulador no afectara la producción solar del resto de la matriz, y para ello se considero un regulador para cada sub-módulo (A1, A2....A6; B1, B2,....B6) además de que el conductor por cada uno seria de menos calibre y habría una menor caída de tensión, respecto a un solo cable conductor. Se tiene los datos siguientes:

- $I=9.6$ A (corriente de salida del panel solar)
- $V=48$ voltios(voltaje de salida del panel solar)

Luego para cada sub-módulo, el regulador debe tener los siguientes datos de entrada:

- regulador para A1: $I= 9.6*5= 48$ A ; $V=48$ V
- regulador para A2: $I= 9.6*5= 48$ A ; $V=48$ V
- regulador para A3: $I= 9.6*5= 48$ A ; $V=48$ V
- regulador para A4: $I= 9.6*5= 48$ A ; $V=48$ V
- regulador para A5: $I= 9.6*5= 48$ A ; $V=48$ V
- regulador para A6: $I= 9.6*5= 48$ A ; $V=48$ V

El mismo cálculo se utilizó para hallar las características del regulador para el módulo B, el esquema de los reguladores conectados a los sub-módulos se aprecia en la Figura 58.

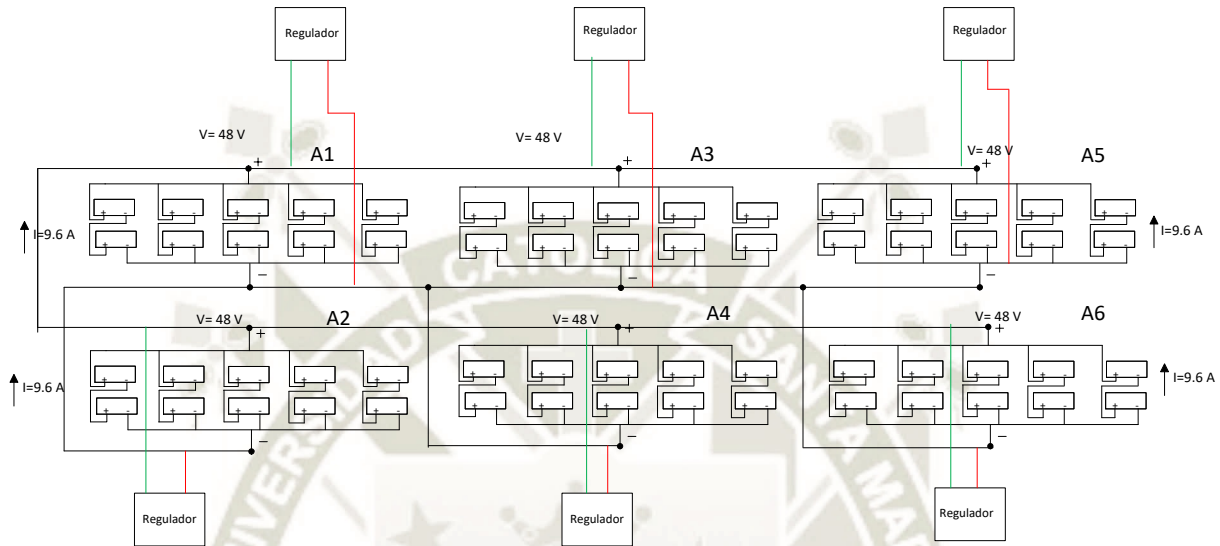


Figura 58: Diagrama de Reguladores Conectados al Módulo A
Fuente: Elaboración Propia

b) Para el módulo C

En este módulo se dispone de 2 sub-módulos de paneles C1 y C2 para el módulo C, y se tienen los datos:

- $I=9.6\text{ A}$ (corriente de salida del módulo solar)
- $V=48\text{ voltios}$ (voltaje de salida del módulo solar)

Luego para cada sub-módulo, el regulador debe tener los siguientes datos de entrada:

- regulador para C1: $I= 9.6*6= 57.6\text{ A}$; $V=48\text{ v}$
- regulador para C2: $I= 9.6*5= 57.6\text{ A}$; $V=48\text{ v}$

El diagrama de la conexión de regulador módulo se puede apreciar en la Figura 59.

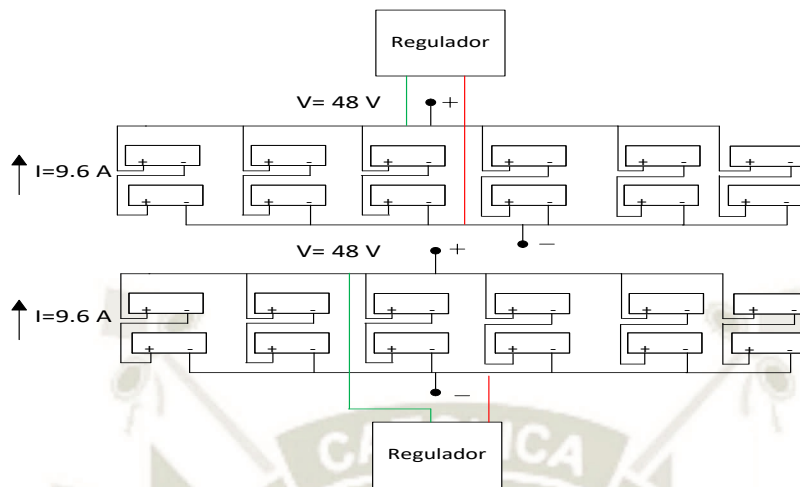


Figura 59: Diagrama de Reguladores Conectados al Módulo C
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se necesita un regulador con un voltaje de entrada de 48 v y una capacidad de 60 A, las especificaciones técnicas se da en la Tabla 23.

Tabla 23 :
Especificaciones técnicas de regulador de voltaje

Especificaciones Técnicas	
Marca	TRISTAR MPPT
Vnom	48 v
Corriente máxima de batería	60 A
Potencia nominal de funcionamiento máximo	3200 Watts
Tensión máxima de circuito abierto PV	150 Vcc
Rendimiento pico	99 %
Consumo propio	2.7 Watts
Conector de comunicación	RS-232

Fuente: Elaboración Propia



Figura 60: Regulador de Voltaje Tristar MPPT
Fuente: Fabricante Tristar MPPT

3.2.6. Baterías

Luego de que la energía eléctrica es producida por los módulos fotovoltaicos, y pasan por los reguladores de voltaje, donde se controla cuanta corriente está circulando en un determinado tiempo, la energía pasa al banco de baterías, para ello se debe seleccionar la batería adecuada para la instalación, esa batería debe tener ciclos repetidos de carga y descarga, y en su estado máximo de carga, puede proveer energía eléctrica durante unas 20 horas continuas aproximadamente, para ello se selecciona la batería de ciclo profundo.

El ciclo corresponde al tiempo que tarda la batería en descargarse a sus niveles mínimos (hasta el 80% de su capacidad total de carga, de ahí el nombre de ciclo profundo) y luego volver a cargarse al 100% de su capacidad. (Cavasassi, ¿Que es una bateria de ciclo profundo?, 2009)

Para la selección de la batería, hemos tomado en cuenta, la cantidad de paneles que están presentes en la instalación, además de la cantidad de voltaje que posee cada banco de baterías y que servirá para alimentar la distribución de nuestras cargas finales.

Para el requerimiento de las baterías en nuestra planta solar, el equilibrio energético entre los equipos se da entre el voltaje de salida de los módulos y la entrada del regulador o cargador, mientras que a la salida del regulador esta se conecta al banco de baterías.

a) Baterías para el módulo A y B

Antes que nada, primero se necesita dimensionar la capacidad de la batería, el número total de baterías en serie y paralelo para cada banco, con lo cual se hará el cálculo respectivo, con la Ecuación 16 :

$$Capacidad\ de\ la\ bateria = \frac{Energia\ requerida \times Dias\ de\ autonomia}{Voltaje\ nominal \times Profundidad\ de\ descarga} \quad (16)$$

Se tiene los siguientes datos :

- La energía diaria requerida es de 63.5 kWh/día.
- Se consideran 1.5 días de Autonomía
- Una profundidad de descarga del 60%
- El Voltaje nominal de trabajo es de 48 v

Reemplazando todos los datos en la expresión se tiene:

$$Capacidad\ de\ la\ batería = (63.5 * 1.5) / (48 * 0.6) = 3307.29\ Ah$$

Luego de hallar la capacidad de la batería , ahora se hallará la cantidad del número de baterías en serie y paralelo con la Ecuación 17 :

$$NTB = \frac{V_{\text{nominal}} \times \text{Capacidad de la batería}}{\text{Voltaje de la batería} \times \text{Capacidad batería}} \quad (17)$$

reemplazamos: $NBT = (48 \times 3307.29) / (12 \times 550)$
 $= 24.05$, es decir 24 baterías en total

entonces :

$$NB_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{nominal}}}{\text{Voltaje de la batería}} \quad (18)$$

Para hallar las baterías en serie y en paralelo se reemplaza en la Ecuación 18 y la Ecuación 19 , se obtiene :

$$= 48 / 12 = 4 \text{ baterías en serie}$$

$$NB_{\text{paralelo}} = \frac{NTB}{NB_{\text{serie}}} \quad (19)$$

$$= 24 / 4 = 6 \text{ baterías en paralelo}$$

Esto quiere decir que el arreglo será así, en total son 6 bancos independientes donde .
 cada banco tendrá 4 baterías en serie y a su vez están en paralelo, cada regulador y cada sub-

módulo tiene su propio banco de baterías, con lo cual la distribución final se ve la Figura 61, para el módulo A y la Figura 62 para el módulo B.

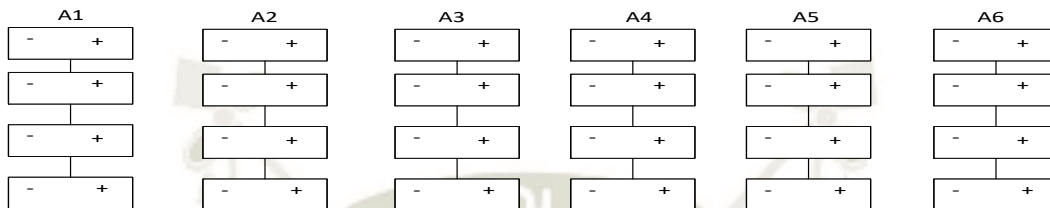


Figura 61: Banco de Baterías para Módulo A
Fuente: Elaboración Propia

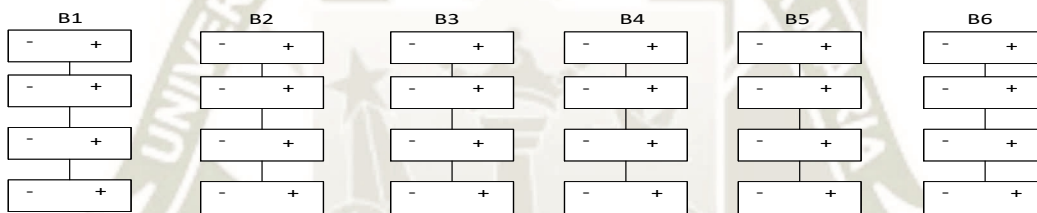


Figura 62: Banco de Baterías para Módulo B
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente se tienen los siguientes datos: $V_{\text{salida}} = 48 \text{ v}$; $I_{\text{salida}} = 6 \cdot 550 = 3300 \text{ A}$,

b) Para el módulo C

Para el módulo C, el dimensionamiento sería similar, entonces se tiene los datos siguientes:

- La energía diaria requerida es de 22.4 kWh/día.
- Se consideran 1.5 día de Autonomía
- Una profundidad de descarga del 60%
- El Voltaje nominal de trabajo es de 48 v

Hallamos la capacidad de batería, reemplazando en la Ecuación 16, se obtiene :

$$= (22.4*1.5)/ (48*0.6)$$

$$=1166 \text{ Ah}$$

Luego de hallar la capacidad de la batería, ahora se hallara la cantidad del número de baterías en serie y paralelo :

Reemplazamos en la Ecuación 17: $NBT = (48*1166)/(12*550)$

$$= 8.48$$

Se tiene 8 baterías en total, ahora se calcula las baterías en serie y paralelo :

Reemplazando en la Ecuación 18

$$= 48/12$$

$$= 4 \text{ baterías en serie}$$

Reemplazando en la Ecuación 19

$$= 8/4$$

$$= 2 \text{ baterías en paralelo}$$

El arreglo de las baterías sería para los sub-módulos de C, dos bancos de baterías independientes C1 y C2, cada uno con 4 baterías en serie y a su misma los bancos que son 2, se encuentran en paralelo, la distribución se muestra en la Figura 63.

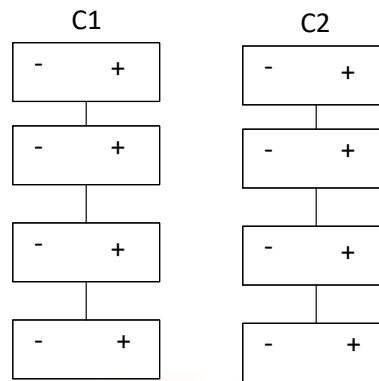


Figura 63: Banco de Baterías para Módulo C
Fuente: Elaboración Propia

Se tienen los datos: $V_{salida} = 48 \text{ v}$, $I_{salida} = 2 \times 550 \text{ A} = 1100 \text{ A}$, el inversor deberá de cumplir con estos datos para acoplarlos al sistema, en la Tabla 24 se muestra las especificaciones de la batería, y en la Figura 64 se muestra la batería seleccionada para la planta solar fotovoltaica .

Tabla 24 :
Características Eléctricas de la Batería

Características eléctricas	
Marca	U-power
Vnom	12 V
C100 rated capacity (120h)	600 Ah
C5 rated capacity(100h)	550 Ah
Reserve capacity @25 A	880 min
Reserve capacity @755 A	225 min

Fuente: Fabricante U-power



Figura 64: Selección de Batería para la Planta Solar Fotovoltaica
Fuente: Fabricante U-Power

3.2.7. Inversor fotovoltaico

Después de que se obtiene la energía necesaria por parte de los módulos fotovoltaicos, y esta ingresa al regulador para luego cargar las baterías, ahora esa misma energía eléctrica que está en DC, necesita ser transformada en energía AC, esta energía pasara a través del inversor, quien se encargara de hacer la conversión para finalmente conectarse a las cargas finales, el dimensionamiento se realizo de la forma siguiente:

a) Para el módulo A

Para ello se tomo la carga correspondiente del alumbrado público ya calculado en el ítem 2.5.3 del capítulo 2, y se tiene una carga de 7840 watts, donde aplicamos la Ecuación 20, para hallar la capacidad de carga del inversor, se tiene lo siguiente :

$$Scarga = \frac{Fs \times (Pcarga)}{Fp} \quad (20)$$

Donde :

- $Fs=1.25$ (factor de seguridad del 25 %)
- $Fp=0.8$
- $Pcarga= 7840$ Watts

$$\begin{aligned} Scarga &= 1.25*(7840/0.8) \\ &= 12250 \text{ VA} \end{aligned}$$

Por lo tanto el inversor adecuado tendrá una capacidad de 15000 watts, y una entrada de voltaje en DC de 48 V, en la Tabla 25 tenemos la especificaciones técnicas del inversor

Tabla 25
Especificaciones Técnicas de Inversor para el Módulo A

Inversor 15 kW	
Marca	Sigineer Power
Modelo	
Motor	Trifásica
POT NOMINAL-SALIDA	15 kW
Frecuencia de salida	50 Hz/60Hz
Eficiencia nominal	90%
Tensión de entrada	48 V
Tensión de salida trifásico	220 V-380 V

Fuente: Elaboración Propia

b) Para el módulo B

La carga correspondiente para este módulo es de las familias de Arcata, y su valor de consumo es de 15105.6 Watts en una hora, ya que son 24 familias x 629.4 watts (esto se definió en el ítem 2.5.3 del capítulo 2) , luego reemplazando en la Ecuación 20, se tiene los siguientes datos:

- $F_s=1.25$
- $F_p=0.8$
- $P_{carga}= 15105.6 \text{ Watts}$

Reemplazando en la Ecuación 13, se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Scarga} &= 1.25 * (15105 / 0.8) \\ &= 23602.5 \text{ VA} \end{aligned}$$

Por lo tanto el inversor adecuado tendrá una capacidad de 24000 watts, y una entrada de voltaje en DC de 48 V, en la Tabla 26 tenemos la selección del inversor :

Tabla 26
Especificaciones Técnicas de Inversor para el Módulo B

Inversor 24 kW	
Marca	Sigineer Power
Modelo	
Motor	Trifásica
POT NOMINAL-SALIDA	24 kW
Frecuencia de salida	50 Hz/60Hz
Eficiencia nominal	90%
Tensión de entrada	48 V
Tensión de salida trifásico	220 V-380V

Fuente: Elaboración Propia

c) **Para el módulo C**

La carga correspondiente para el módulo C, proviene del municipio del centro poblado y del reabastecimiento de la planta , el consumo es de 1087.5 Watts (esto ya definido en el ítem 2.5.3 del capítulo 2), se tiene los siguiente datos:

- $F_s=1.25$
- $F_p=0.8$
- $P_{carga}= 2802.9$ Watts

Reemplazamos en la Ecuación 20, y se obtiene :

$$\begin{aligned} S_{carga} &= 1.25 * (2802.9 / 0.8) \\ &= 3503.625 \text{ VA} \end{aligned}$$

Por lo tanto el inversor adecuado tendrá una capacidad de 5000 Watts, la Tabla 27 muestra las especificaciones técnicas del inversor.

Tabla 27
Especificaciones Técnicas de Inversor para el Módulo C

Inversor 5 kW	
Marca	Sigineer Power
Modelo	
Motor	Trifásica
POT NOMINAL-SALIDA	5 kW
Frecuencia de salida	50 Hz/60Hz
Eficiencia nominal	90%
Tensión de entrada	48 V
Tensión de salida trifásico	220 V-380V

Fuente: Elaboración Propia

3.2.8. Instrumentación : medidor de energía

Luego de que la energía eléctrica en DC es convertida en AC por parte del inversor, esta será distribuida hacia las cargas finales, esta energía será medida por un medidor de energía el cual indica que cantidad de energía está consumiendo la carga y si es que hubiera un exceso de consumo esta genera una advertencia o alarma y se accionaria un interruptor o sistema de protección para evitar la sobrecarga de energía, con lo cual elegir el medidor de energía para las cargas será lo ideal. Para el alumbrado público se usara un medidor trifásico de acuerdo a la norma peruana DGE 011-CE-1, el medidor trifásico presenta las siguientes características en la Figura 65.

Característica	Unidad	Valor ofrecido
GENERALES		
Fabricante/marca		Shenzhen Star Instrument Co.,Ltd. / Star
País de origen de la fabricación		China
Modelo		DTS27
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Tipo de Medición	KWh	Energía Activa
Tipo de Diseño		Electrónico
Dimensiones:		
Pantalla LCD (ancho x alto x profundidad)		(76x17x2.8) mm
Caracteres de indicación Display (altura de caracteres)	Mm	10.2
Externas máximas (profundidad, largo, ancho)		(68, 241, 175) mm
Tipo de pantalla (display)		LCD
Datos indicado en pantalla (Display)		Consumo en KWh
Cantidad de dígitos del indicador de lectura	Enteros	6 enteros y un decimal
Número de tarifas		1
Sistema de registro		Aditivo siempre positivo
Memoria no volátil para el visualizador		10 años
Clase de precisión	Cl.	1
Unidad de Medida	KWh	kWh
Tensión nominal	V	380/220
Frecuencia nominal	Hz	60
Temperatura de operación	°C	-25 a + 60
Factor de sobrecarga (mínimo)		10
Corriente máxima	A	100
Corriente nominal	A	10
Número de hilos		4
Número de fases		3
Tipo de instalación		Directo (sin uso de transformadores de corriente)
Constante del medidor	Pulsos/kWh	100
Esquema de conexiones impresa, pintada o grabada en la tapa de la caja de bornes (no se aceptarán adhesivos o similares).	Si/No	Si
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS		
Tensión de impulso a una forma de onda 1.2/50 micro s. de impulso a una resistencia de 500 Ohm +/- 50 Ohms.	KV	6
Tensión de prueba de aislamiento a corriente alterna durante 1 minuto, clase de aislamiento II	kV rms	4
Carga de arranque a tensión, frecuencia y corriente nominal <=	% In	0.4
Consumo del circuito de corriente a carga nominal <=	VA	<0.05
Consumo del circuito de tensión a carga nominal <=	W y VA	0.6 y 1
Requisitos y pruebas eléctricas, según numeral 7 de la norma IEC 62052-11 e IEC 62053-21.		Si

Figura 65: Características del Medidor para el Alumbrado Público
Fuente Fabricante Start Instrument



Figura 66: Medidor de energía para alumbrado público
Fuente Fabricante Start Instrument

Los demás medidores que son para el municipio, y las familias de Arcata, serán medidores monofásicos, con lo cual es suficiente para medir la energía que circula en estas cargas, por ser de bajo consumo, y respetando la norma peruana DGE 011-CE-1.

Según la norma, todo medidor debe estar instalado de manera correcta en una caja metálica, para su protección, además del cableado y las distancias que requiere cada equipo, en la Figura 67 se muestra un esquema de caja metálica para un medidor de energía.

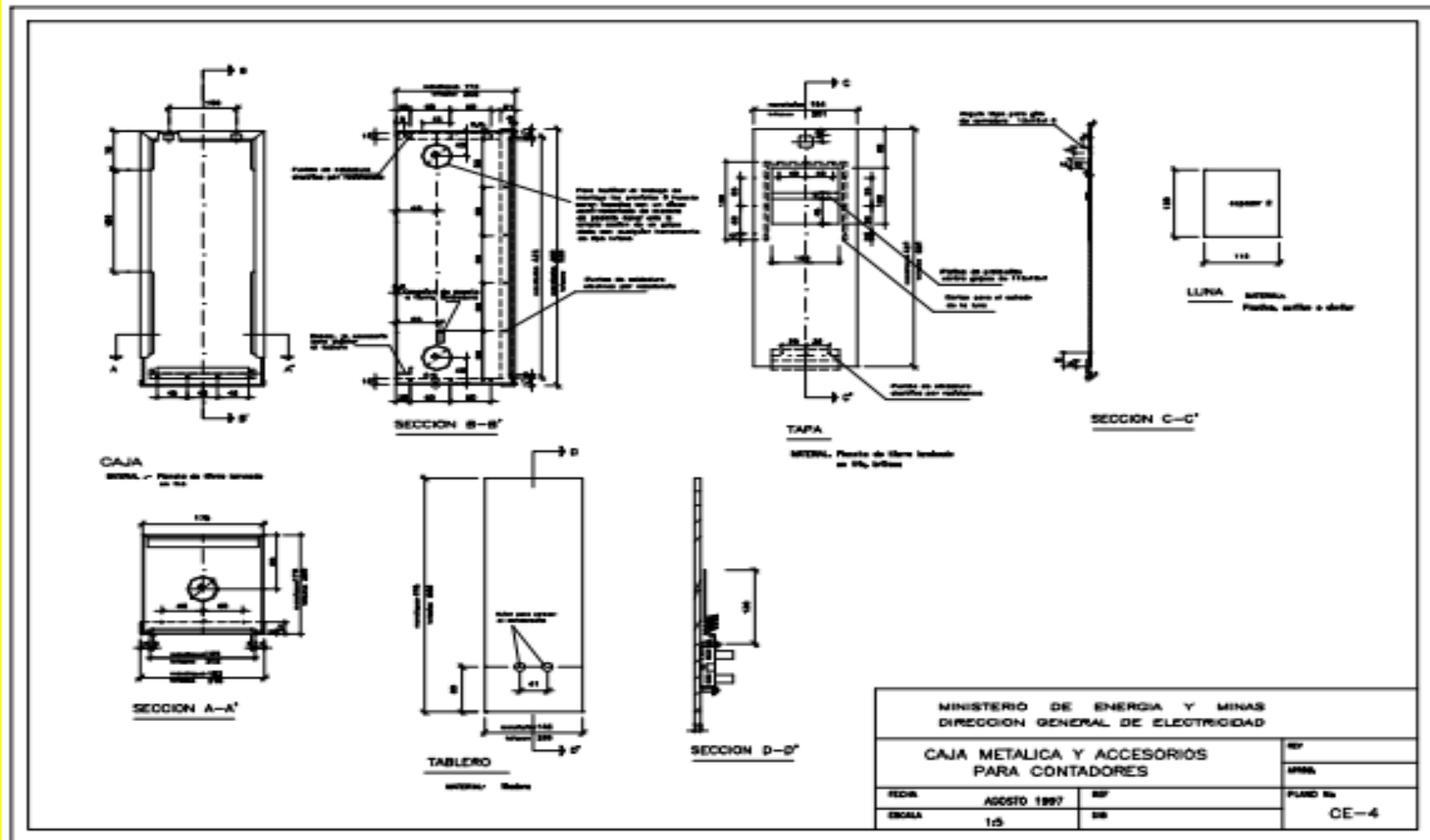


Figura 67: Caja Metálica para Contador

Fuente : Elaboración Propia

3.3 . Diseño Eléctrico en el Proyecto

3.3.1. Selección del cable

La correcta selección del calibre del conductor permite al equipo un correcto funcionamiento, aumenta el rendimiento y la fiabilidad del sistema , evitando situaciones de riesgo. el tipo de cable dependerá de las conexiones que se van a realizar, de manera general deben cumplir con lo siguiente (Procobre, 2011):

- Para las conexiones entre módulos el cable debe ser resistente a la luz solar, como a la intemperie, y para este caso se considera el TWD-UV, el cual está diseñado como cable de acometida aérea y para sistemas fotovoltaicos.
- Para las demás conexiones entre los demás componentes del sistema, estos deben ser resistentes a la humedad y estar aislados de la intemperie, en este caso el THW es termoplástico resistente a la humedad, al calor y propagación de incendios , esto se aislara mediante tubo corrugado.

Para poder dimensionar el calibre del conductor se toma en consideración la siguiente

Ecuación 21 :

$$S = \frac{2 \times L \times I}{k \times \Delta V} \quad (21)$$

Donde :

- L: longitud del cable
- I: intensidad (Amp)
- k: conductividad (m/Ω mm²)

- ΔV : caída de tensión del voltaje del sistema

Para el cálculo del cableado en el sistema se hizo la división siguiente:

a) En los paneles y al regulador

Debemos considerar que la conexión se da entre los sub-módulos (A1, A2, A3.....A6) y los reguladores, la cantidad de reguladores se definió en el ítem 3.2.4, para los módulos A y B es 6, se tiene entonces, para cada regulador:

- Longitud : 5.5 mts (distancia aproximada del cable)
- Material Cu.(material del cable)
- Intensidad (Amp): 48 A (corriente de salida de los sub-módulos de A y B)
- $\Delta V= 48$ V, Caída de Tensión: 3% (pérdida de tensión máxima permitida = 1.44 v)
- $K = 56$ m/ Ω .mm²
- **Sección del Conductor : 16 mm², AWG= 5**

Se tiene una sección del cable de 16 mm² , si deseamos hacer la conversión a la norma americana AWG se tiene una sección de 5, mientras que el cableado para el módulo C, se tiene:

- Longitud : 5.5 metros (distancia aproximada del cable)
- Material Cu.(material del cable)
- Intensidad (Amp): 57.6 A (corriente de salida de los sub-módulos de A y B)
- $\Delta V= 48$ V , Caída de Tensión : 3% (pérdida de tensión máxima permitida = 1.44 V)
- $K = 56$ m/ Ω .mm²
- **Sección del Conductor. : 25 mm², AWG= 3**

Si deseamos hacer la conversión del cable en la norma americana, se puede tomar el valor correspondiente del cable en la Tabla 28.

Tabla 28:
Determinación del tipo de cable en AWG

Determinación Tipo de cable						
número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46

Fuente Elaboración Propia

b) Del regulador a las baterías.

El cableado del regulador a la baterías, será de la misma manera, para cada regulador se tiene un banco de baterías, esto se definió en el ítem 3.2.4, se tiene los datos siguientes :

- Longitud: 1.5 metros
- Material Cu.
- Intensidad (Amp): 48 A
- $\Delta V = 48 \text{ V}$, Caída de Tensión: 1% (valor mínimo aceptado entre regulador y baterías =0.48 V)
- $K = 56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.
- **Sección del Conductor: 16 mm², AWG=5.**

c) De las baterías al inversor.

Del banco de baterías al inversor(módulos A y B) se consideran los siguientes datos:

- Longitud: 2 metros
- Material Cu.
- Intensidad (Amp): 312.5 A
- $\Delta V = 48 \text{ V}$, Caída de Tensión : 1% (0.48 V)
- $K = 56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.
- **Sección del Conductor. : 150 mm²**

El cableado del banco de baterías al inversor (módulo C), es similar, se tiene :

- Longitud: 2 metros
- Material Cu.

- Intensidad (Amp): 104.16 A
- $\Delta V = 48 \text{ V}$, Caída de Tensión : 1% (0.48 V)
- $K = 56 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$.
- **Sección del Conductor. : 50 mm²**

Luego de definir el calibre de los conductores de los cables para los equipos, a continuación se definirá el esquema de conexiones eléctricas.

3.3.2. Esquema de conexiones eléctricas

La Planta cuenta con 144 Módulos, que son los requeridos para generar un flujo de energía eléctrica de 51.7 MWh anual de electricidad, como se menciona los 144 módulos fotovoltaicos, estarán divididos en tres módulos (A-B-C).

Todo el sistema de conexiones se resume desde la generación de energía eléctrica por parte de los módulos solares, donde producirá una corriente, voltaje y potencia, que será regulado por un cargador de voltaje que tendrá la función de regular cuanta energía se entrega al banco de baterías, donde se almacenara la energía necesaria para alimentar a las cargas, hasta ese momento la energía producida esta en DC (corriente continua), con lo cual se necesita transforma esa energía en AC (corriente alterna), ya que las cargas trabajan y funcionan en AC, por ello el equipo encargado de hacer dicha conversión en el inversor, de esa manera finalmente la energía es entregada a los usuarios finales, el medidor de energía se encargara de medir cuanta energía está pasando a las cargas, por otro lado se debe considerar los sistemas de protección(interruptores termo magnéticos) muy necesarios e importantes tanto en la fase de generación y en la de distribución, ya que de ello dependerá la seguridad y control del sistema para diversas incidencias si las hubiera.

Los demás elementos complementarios como tableros, cajas de seguridad y sistemas de protección se definirán en los siguientes ítem. en la Figura 68 se muestra el esquema de conexiones eléctricas de la planta solar fotovoltaica.

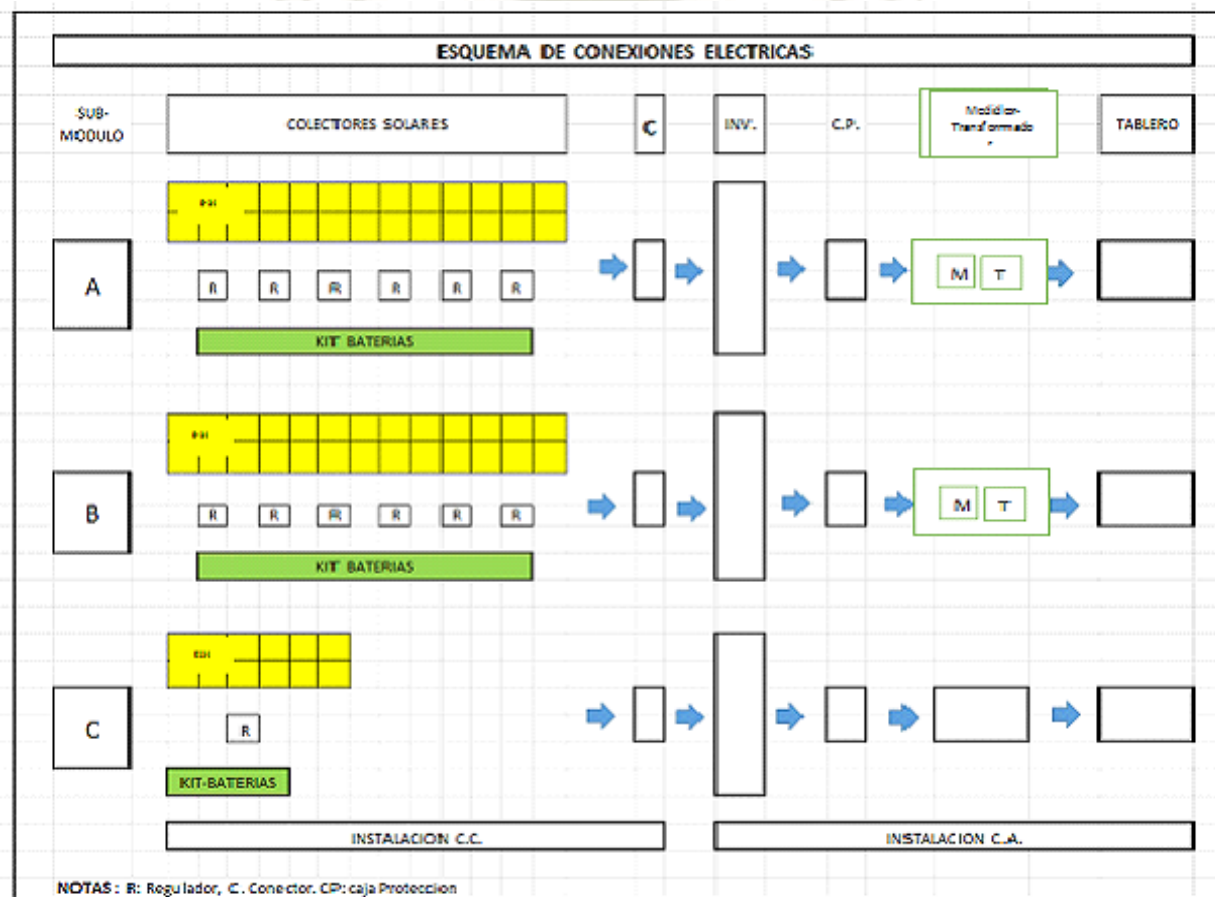


Figura 68: Esquema de Conexiones Eléctricas
Fuente: Elaboración Propia

El esquema de diagrama unifilar se muestra del sistema se muestra en la Figura 64

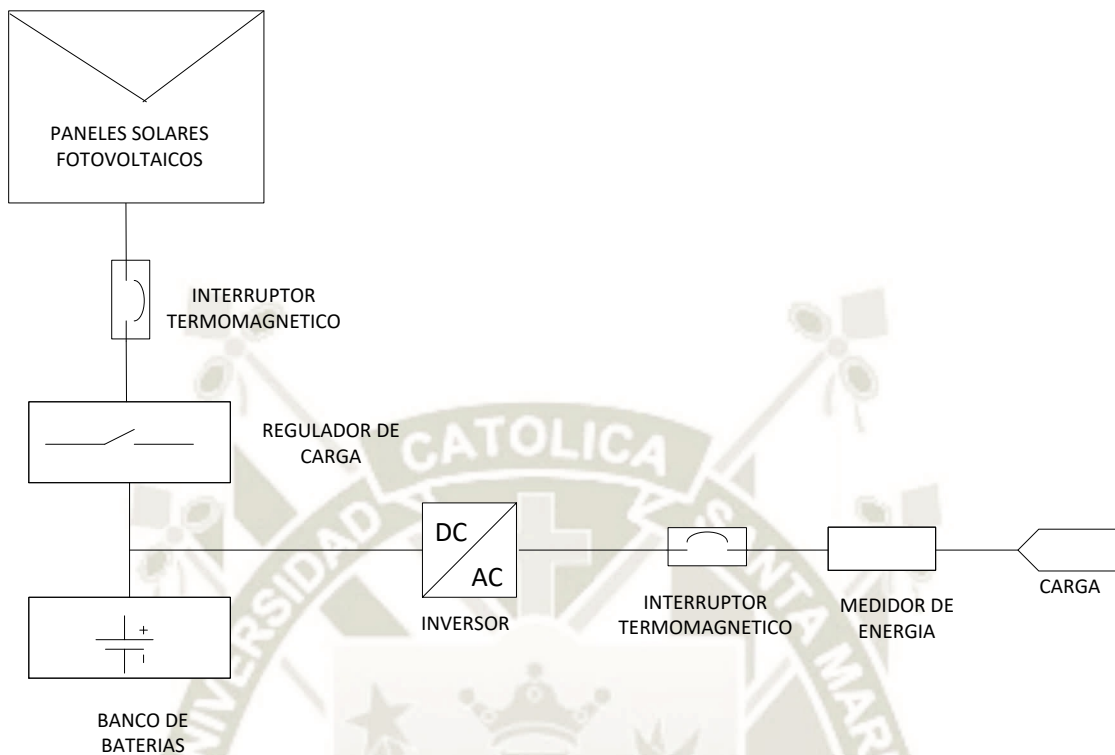


Figura 69. Diagrama Unifilar del Sistema
Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Elementos para la instalación

Los elementos complementarios requeridos para la instalación, son las cajas de conexión y las cajas de seguridad usados para las instalaciones en corriente continua y corriente alterna, las mismas que se detallan en el punto siguiente.

- a) **Cajas de conexión:** en la caja de conexión, se distribuirán las conexiones eléctricas necesarias y por lo general están ocultas a la vista y deben estar protegidos contra agentes externos que puedan dañar las conexiones y uniones eléctricas, existen diversidad de estos elementos en el mercado, pero para la instalación se requerirán los siguientes tipos:

- **Cajas de conexión para módulos A, B y C**

Las Cajas de conexión serán con grado de protección IP66, con una resistencia fuerte contra impactos, dispone de una placa de montaje aislante, resistente al calor intenso y al fuego, además de que cumple con la norma IEC60670 (europea) y la NTP(norma técnica peruana).

- b) **Caja de protección:** la caja general de protección (CGP), aloja los elementos de protección para la posterior línea repartidora, en su interior hay tres fusibles (uno por cada conductor de fase) que protegen contra posibles cortocircuitos.

- **Caja de protección contra sobre intensidades y sobretensiones c.c. en la caseta del inversor**

Un ejemplo claro es la caja protección en la caseta del inversor, donde se puede escoger una caja que sea resistente al impacto, a la temperatura y al fuego, tiene un grado de protección IP55 resistente al impacto, al calor intenso y al fuego, dispone de doble aislamiento y cumple con la norma IEC60670 (Norma Europea), pues no existe NTP (Norma Técnica Peruana).

- **Caja de protección para la distribución de equipos auxiliares de la caseta (cd)**

Esta caja es para la distribución en C.A. 220 V, de los equipos auxiliares (iluminación, alumbrado de emergencia, extractor, toma de corriente) está compuesta por: una caja plástica con carril DIN, resistente al impacto, dispone de doble aislamiento y cumple con la norma IEC 60670 (europea) y la norma 370.303- NTP., ver Figura 70.

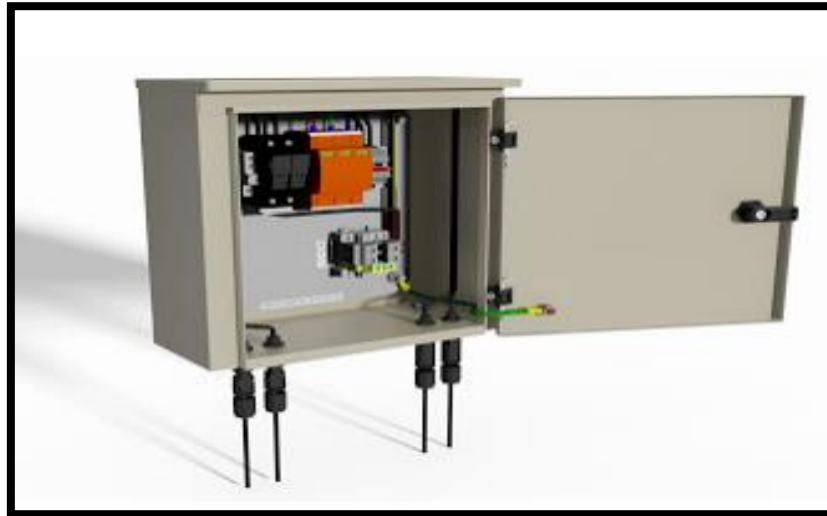


Figura 70: Caja de Protección para la Distribución de Equipos
Fuente Fabricante

- c) **Armario de Medida:** es una caja de protección especial, que puede ser usado en los inversores a exclusividad. Tiene los elementos de protección para dicho equipo y este compuesto por: un armario de poliéster prensado en caliente reforzado con fibra de vidrio según normativa de Iberdrola. Dispone de una placa base de montaje de los equipos a montar, con velo protector y ventanilla para accionamiento del magneto térmico y diferencial, ver la Figura 71.



Figura 71. Armario de Medida.
Fuente Fabricante

- d) **Tableros de distribución:** es una variante de la caja de protección, contiene todos los sub sistemas del sistema eléctrico como se aprecia en la Figura 72. La estructura es muy similar y se debe recurrir a las Normas Técnicas de Seguridad eléctrica pertinentes para su instalación, en la Figura 73 se aprecia los circuitos de un tablero de distribución.



Figura 72: Tablero de Distribución
Fuente :Fabricante

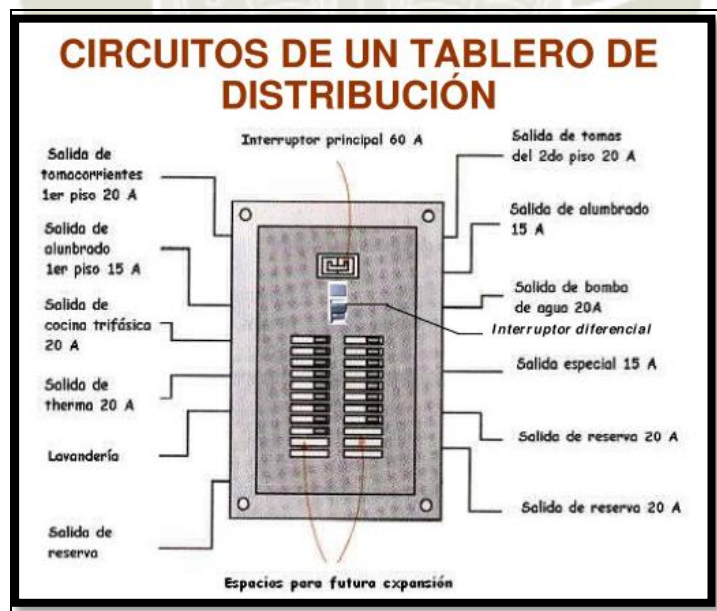


Figura 73: Circuito de un Tablero de Distribución
Fuente :Fabricante

Los Tableros de distribución o armarios, para nuestro proyecto, requiere de cumplir los siguientes requisitos: armario de poliéster prensado en caliente reforzado con fibra de vidrio según normativa de Iberdrola. Dispone de una placa base de montaje de los equipos a montar, con velo protector y ventanilla para accionamiento del magneto térmico y diferencial.

3.3.4. Instalación en corriente continua

a) **Conexión eléctrica de los módulos sistema A-B-C:** los cables se fijarán mediante bridas plásticas de intemperie. Desde cada sub-módulo de los módulos A, B y C, definidos anteriormente, hasta su caja de conexiones, se utiliza igualmente cable de tipo TWD-UV, que son los adecuados para este tipo de conexión. En aquellos paneles situados en la misma fila que la caja de conexión, estos cables irán sobre las correas de la estructura, mientras que en los grupos que están en diferentes filas los cables irán enterrados bajo tubo corrugado.

En la instalación fotovoltaica se dispone de 6 cajas de conexiones para cada sección de sub-módulos de paneles, es decir:

- 6 cajas de conexión para el módulo A (para cada sub módulo 1 caja de conexión)
- 6 cajas de conexión para el módulo B (para cada sub-módulo , 1 caja de conexión)
- 2 cajas de conexión para el módulo C (para cada sub-módulo, 1 caja de conexión)

En la Figura 74 se puede apreciar el plano de disposición de los paneles solares

- b) **Línea eléctrica (caja de protección – cc):** las líneas eléctricas van desde las cajas de conexiones en campo desde la etapa de generación por parte de los paneles solares hasta la caja de protección contra sobre intensidades y sobretensiones, en la caseta del inversor las líneas se ubicaran por ductos de protección hasta el final de las filas donde se introducirán en las arquetas (C. Conexión) y a partir de aquí irán a los inversores.

El conductor a utilizar puede ser el cable de tipo RV-K 0,6/1 kV, indicado para el transporte y distribución de energía eléctrica en baja tensión y que pueden ser utilizados en instalaciones fijas y redes subterráneas, cumpliendo la NTP: 370.252 y NTP 370.301.

- c) **Puesta a Tierra:** las estructuras metálicas y el inversor así como los armarios con protecciones contra sobretensiones están unidos a picas de tierra.

3.3.5. Instalación en corriente alterna (baja tensión)

- a) **Línea eléctrica (inversor):** protegida mediante canaleta esta línea une el inversor con la caja de protección de posibles sobre intensidades y sobretensiones, para esta línea eléctrica se utiliza cable $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \times 35 \text{ mm}^2$ (tierra) RV-K 0,6-1 kV.
- b) **Línea eléctrica (caja Protección – medidor):** esta línea eléctrica se ubica desde la caja de protección (contra sobre intensidades y sobretensiones) en la caseta del inversor hasta la caseta de contadores trifásicos (Medidor) y está enterrada bajo tubo corrugado, se puede utilizar un cable de $3 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \times 35 \text{ mm}^2$ del tipo RV-K 0,6-1 kV.
- c) **Línea eléctrica (medidor PQM– a- armario de protección o tablero):** esta línea se ubica desde el medidor hasta el tablero, la red incorpora un fusible de 250 A, un contador o medidor bidireccional con bobinas de medida, un interruptor magneto térmico y un interruptor diferencial de sensibilidad.

- d) **Instalación eléctrica en el interior de la caseta:** dentro de la caseta del inversor, la instalación eléctrica en corriente alterna servirá para alimentar las diversas salidas, para ello la energía distribuida será medida por el medidor trifásico, las diversas salidas están ubicadas en un tablero eléctrico y son alimentadas con cables THW los cuales son los cables adecuados dado por su resistencia a la humedad y soportar temperaturas de 75°C, en ambientes húmedos o secos, cumpliendo la norma UL 83(norma americana de cables eléctricos) en la Figura 75, se puede apreciar las diversas salidas posibles: los tomacorrientes, iluminación general, maquinas o la energía necesaria para los diversos elementos que están presentes, para este caso en la planta solar fotovoltaica.

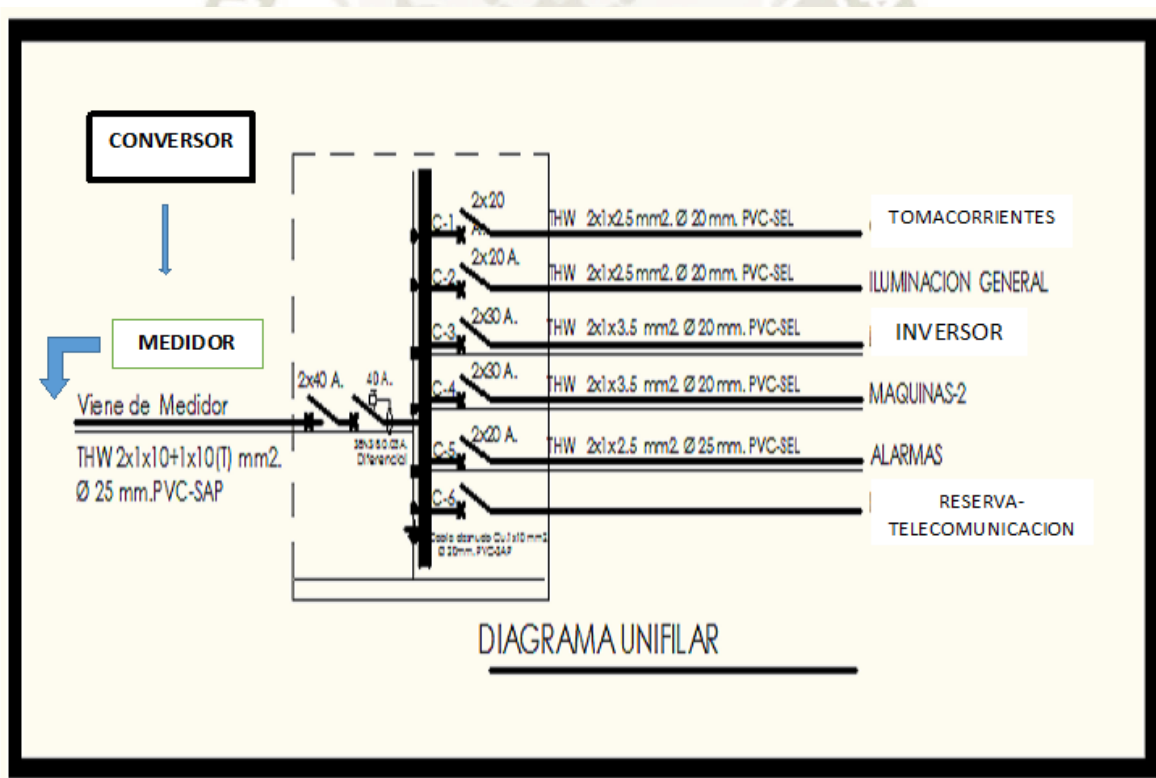


Figura 75: Diagrama Unifilar del Tablero General para Diversas Salidas
Fuente: Elaboración Propia.

3.3.6. Red de tierra

La red de tierras es un sistema de seguridad eléctrica que permite prevenir descargas eléctricas en los equipos (con su consiguiente deterioro) así como en los operarios o personal encargado de las máquinas eléctricas. La red consta de determinados puntos de tierra que se conectan a una troncal que conduce la energía a un pozo a tierra. El circuito está conectado al pozo de puesta a tierra a través de un circuito de conexión a Tierra.

- a) **Normatividad:** existe una normatividad NTP (Norma Técnica Peruana), que es necesario respetar y considerar está contenida en los siguientes dispositivos o componentes eléctricos.
- **NTP 370.052:1999** SEGURIDAD ELÉCTRICA. Materiales que constituyen el pozo de puesta a tierra, 1ª Edición el 13 de diciembre de 1999.
 - **NTP 370.053:1999** SEGURIDAD ELÉCTRICA. Elección de los materiales eléctricos en las instalaciones interiores para puesta a tierra. Conductores de protección de cobre, 1ª Edición el 13 de diciembre de 1999.
 - **NTP 370.054:1999** SEGURIDAD ELÉCTRICA. Enchufes y toma corrientes con protección a tierra para uso doméstico y uso general similar, 1ª Edición el 11 de diciembre de 1999.
 - **NTP 370.055:1999** SEGURIDAD ELÉCTRICA. Sistema de puesta a tierra. Glosario de términos, 1ª Edición el 13 de diciembre de 1999.
 - **NTP 370.056:1999** SEGURIDAD ELÉCTRICA. Electrodo de cobre para puesta a tierra, 1ª Edición

b) **Instalación:** los materiales más comunes a utilizar para una instalación de pozo a tierra son:

- Una varilla de Cu de 12 mm de diámetro y 2.2 m de largo aproximadamente
- Cable desnudo de Cu de 10 mm de diámetro y 5 m de largo aproximadamente
- Conectores para los Cables a tierra
- Cemento Conductivo
- Tierra de Chacra
- Solución Thor Gel

En la Figura 76 se visualiza, un pozo a tierra, con los diversos elementos y medidas necesarias para su instalación

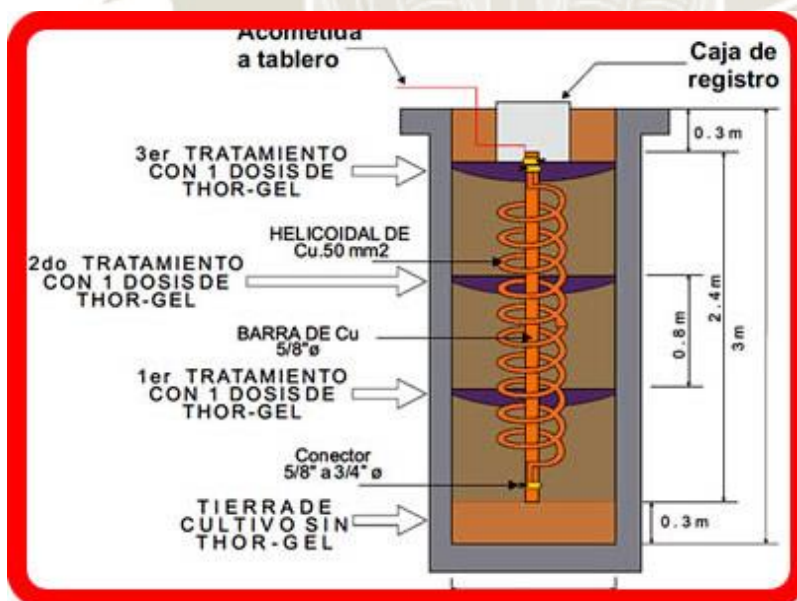
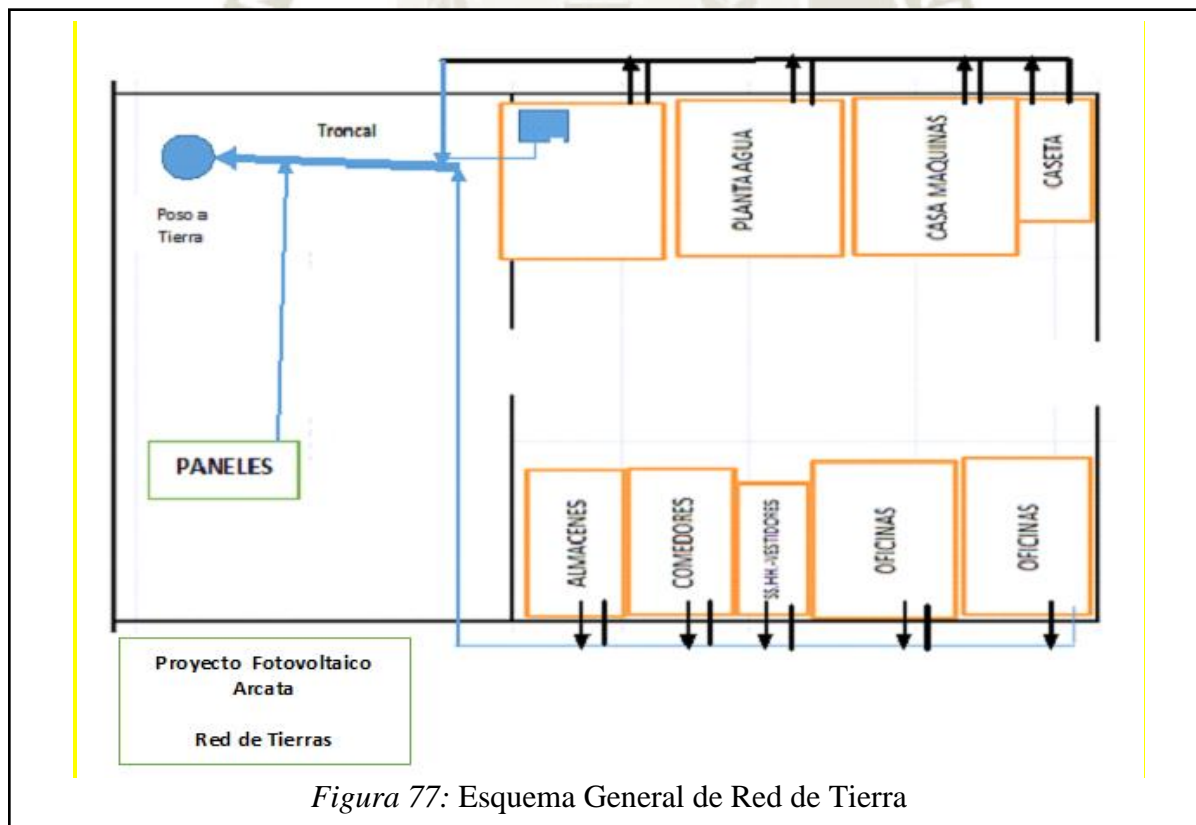


Figura 76 :Esquema de un Pozo de Puesta a Tierra
Fuente: Elaboración Propia.

Con el fin de conseguir una adecuada unión eléctrica entre masas y tierra, con la menor resistencia eléctrica posible, el sistema de conexión a tierra se requiere para lograr que en la instalación no puedan existir tensiones peligrosas entre masas y tierra.

Con la puesta a tierra trata que las corrientes de defecto a tierra (I_d), tengan un camino más fácil, que el que tendría el cuerpo de una persona que tocara la carcasa metálica bajo tensión. Por tanto, como la red de tierras ha de tener una resistencia mucho menor que la del cuerpo humano, la corriente de defecto circulará por la red de tierra, en vez de hacerlo por el cuerpo de la persona, con ello, se logra la seguridad deseada, el plano de instalaciones a tierra, adjunto, muestra los detalles del caso en la Figura 77.



Fuente: Elaboración Propia

3.3.7. Sistemas de protección

La protección eléctrica se puede definir como el conjunto de equipos necesarios para la detección y eliminación de incidentes en los sistemas o instalaciones eléctricas que brinda seguridad a los equipos y operadores de la central. Tanto para la etapa de generación y la etapa de distribución es importante incluir los sistemas de protección necesarios, para poder evitar a tiempo fallas en el sistema, así como la protección de los equipos, existen dos tipos de protecciones eléctricas :

- Protección de elementos de un circuito contra sobre intensidades
 - Protección contra sobretensiones.
- a) **Contactos directos:** se considera las siguientes protecciones contra contactos directos.
- Módulos fotovoltaicos: los bornes de conexión presentes en el interior de las cajas según normativa.
 - Cajas de conexión en el campo de paneles: bornes en el interior de la caja, según normativa
 - Inversor: bornes de conexión según normativa
- b) **Protecciones de C.C y C.A:** se considera las protecciones tanto en corriente continua y en corriente alterna.

Corriente continua :

- Las cajas de conexión disponen de fusibles de protección para proteger las líneas.
- El inversor, tiene en la entrada elementos de protección según el fabricante y sus características técnicas.

Corriente alterna :

- El inversor, dispone de un magneto térmico de protección a su salida, y también un interruptor magneto térmico diferencial, como medida de seguridad.

3.4 Punto de energía

El punto de energía o de entrega al usuario, es el punto de enlace entre una red de energía eléctrica y el usuario o carga final, que se da en la etapa de distribución, para ello hemos mencionado que los usuarios finales, recibirán la energía final de acuerdo al cálculo de producción que se hizo anteriormente en la Tabla 16, la Figura 78 muestra un esquema de entrega a los usuarios finales.

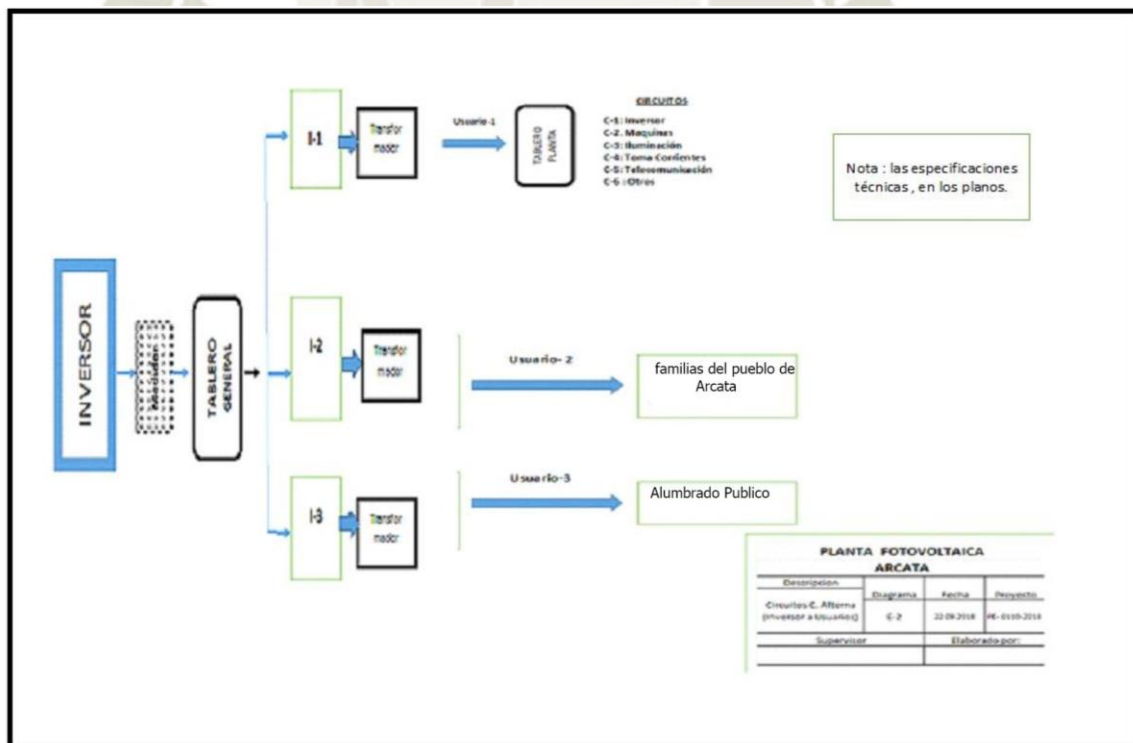


Figura 78. Punto de Entrega de Energía para los Usuarios Finales
Fuente : Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

4. SUPERVISIÓN Y CONTROL DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

4.1 Introducción

En esta sección se desarrolla la parte de elaboración del SCADA, realizada en el programa de Factory Talk View de Rockwell Automation para realizar la programación y simulación de la planta solar fotovoltaica. Para el desarrollo de nuestro sistema, se tomo en consideración todos los elementos que son parte de una planta solar fotovoltaica: paneles solares, inversores, baterías, cargadores medidores de energía, todo esto hace parte de nuestro SCADA eléctrico a continuación se menciona el desarrollo a detalle.

Los datos se tomaron de la Tabla 16, donde se definió los valores de producción de energía por parte de cada módulo para la distribución hacia los usuarios finales, los pasos generales para la realización del SCADA son los siguientes:

- a) Creación del emulador de PLC, en Logix Emulate
- b) Configuración de la conexión entre los programas por medio de RS Linx, como servidor del portafolio de Rockwell automation para el SCADA.
- c) Definición de las variables eléctricas en el entorno de Studio 5000, ahí se definirá las variables necesarias que representan las entradas y salidas para la programación en BCD y Ladder para la lógica de programación, las normas que se utilizan son NTCSE y IEC60870.

- d) Una vez realizado la definición de nuestras variables de entrada y salida, realizaremos la simulación propiamente dicha, en el entorno de Factory Talk View, donde se hará el grafico del SCADA eléctrico con los valores ya definidos anteriormente.

4.2 Monitoreo y control de la protección del sistema SCADA

El sistema de protecciones que presenta el sistema de SCADA está definido por interruptores tanto en la parte de generación como en la parte de distribución. En la parte de generación tenemos un interruptor termo magnético para cada módulo, definido por la variable MBL-01, MBL-02 y MBL-03, estos sistemas de protección actúan cortando el fluido eléctrico que existe entre los módulos y los reguladores de voltaje, (que a su vez están conectados con el banco de baterías y el inversor), cuando hay una sobrecarga eléctrica, es decir por ejemplo cuando el banco de baterías ya recibió la carga necesaria, el regulador de voltaje, decide que ya es suficiente energía, con lo cual controla y regula la tensión, lo que hace que el interruptor actúe o se abra cortando el flujo eléctrico, un caso sería cuando se desea proporcionar energía a las cargas y no halla generación de energía solar, es decir en la noche, donde actúa el banco de baterías respectivamente.

En la parte de distribución de energía hacia los usuarios finales se tiene un interruptor automático, por cada línea, para nuestro sistema sería tres interruptores, los cuales están definidos por MB-01, MB-02 y MB-03, estos interruptores actúan cuando hay una sobrecarga o consumo excesivo de potencia por parte de las cargas, el medidor trifásico se encargara de medir dicha energía y activar o cerrar los interruptores, de esta manera se protege los cables y demás equipos presentes en la instalación eléctrica.

4.3 Definición de variables a controlar

Las principales variables que se utilizaron para el desarrollo de la programación del SCADA son las siguientes, estas mismas se usaron para definir los valores, que irán en la simulación respectiva, para ello, se definió los siguientes parámetros:

Main Routine: también llamado rutina principal, en esta sección es donde se inicia la programación de las subrutinas de los módulos de generación de energía fotovoltaica, como también la subrutina que lee la hora del sistema para realizar el grafico de potencia vs tiempo, las subrutinas y variables son las siguientes:

- a) **PS_CHG_A:** subrutina del módulo A, donde se hará la definición de las variables de voltaje, corriente y potencia para cada grupo de módulos.

Tabla 29:

Definición de Variables de Subrutina del Módulo A

Variable	Definición
VA_01_A	valor de voltaje del grupo de paneles A-1
VA_02_A	valor de voltaje del grupo de paneles A-2
VA_03_A	valor de voltaje del grupo de paneles A-3
VA_04_A	valor de voltaje del grupo de paneles A-4
VA_05_A	valor de voltaje del grupo de paneles A-5
VA_06_A	valor de voltaje del grupo de paneles A-6
IA_01_A	Valor de corriente del grupo de paneles en A1
IA_02_A	Valor de corriente del grupo de paneles en A2
IA_03_A	Valor de corriente del grupo de paneles en A3
IA_04_A	Valor de corriente del grupo de paneles en A4
IA_05_A	Valor de corriente del grupo de paneles en A5
IA_06_A	Valor de corriente del grupo de paneles en A6
PA_01_A	Valor de la potencia presente en el módulo A
Vm_100	Voltaje máxima generada en el módulo A
Im_100	Corriente máxima generada en el módulo A
Pm_100	Potencia máxima generada en el módulo A

Fuente : Elaboración Propia

- b) **PS_CHG_B:** subrutina del módulo B, donde se hará la definición de las variables de voltaje, corriente y potencia para cada grupo de módulos.

Tabla 30:
Definición de Variables de Subrutina del Módulo B

Variable	Definición
VB_01_B	valor de voltaje del grupo de paneles B-1
VB_02_B	valor de voltaje del grupo de paneles B-2
VB_03_B	valor de voltaje del grupo de paneles B-3
VB_04_B	valor de voltaje del grupo de paneles B-4
VB_05_B	valor de voltaje del grupo de paneles B-5
VB_06_B	valor de voltaje del grupo de paneles B-6
IB_01_B	Valor de corriente del grupo de paneles en B1
IB_02_B	Valor de corriente del grupo de paneles en B2
IB_03_B	Valor de corriente del grupo de paneles en B3
IB_04_B	Valor de corriente del grupo de paneles en B4
IB_05_B	Valor de corriente del grupo de paneles en B5
IB_06_B	Valor de corriente del grupo de paneles en B6
PB_01_B	Valor de la potencia presente en el módulo B
Vm_200	Voltaje máximo generada en el módulo B
Im_200	Corriente máxima generada en el módulo B
Pm_200	Potencia máxima generada en el módulo B

Fuente: Elaboración Propia

- c) **PS_CHG_C**: subrutina del módulo C, donde se hará la definición de las variables de voltaje, corriente y potencia para cada grupo de módulos.

Tabla 31:
Definición de Variables de Subrutina del Módulo C

Variable	Definición
VC_01_C	valor de voltaje del grupo de paneles C-1
VC_02_C	valor de voltaje del grupo de paneles C-2
VC_03_C	valor de voltaje del grupo de paneles C-3
VC_04_C	valor de voltaje del grupo de paneles C-4
VC_05_C	valor de voltaje del grupo de paneles C-5
VC_06_C	valor de voltaje del grupo de paneles C-6
IC_01_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C1
IC_02_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C2
IC_03_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C3
IC_04_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C4
IC_05_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C5
IC_06_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C6
PC_01_C	Valor de la potencia presente en el módulo C
Vm_300	Voltaje máximo generada en el módulo C
Im_300	Corriente máxima generada en el módulo C
Pm_300	Potencia máxima generada en el módulo B

Fuente: Elaboración Propia.

d) **DISTRIB:** subrutina para la distribución de energía a las cargas finales

Tabla 32:
Definición de Variables de Subrutina para la Distribución de Energía

Variable	Definición
INV_VOUT_01	Voltaje de salida del inversor 1
INV_VOUT_01	Voltaje de salida del inversor 2
INV_VOUT_01	Voltaje de salida del inversor 3
ITT_L1	Corriente de la línea 1
ITT_L2	Corriente de la línea 2
ITT_L3	Corriente de la línea 3
IC_01_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C1
IC_02_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C2
IC_03_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C3
IC_04_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C4
IC_05_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C5
IC_06_C	Valor de corriente del grupo de paneles en C6
PC_01_C	Valor de la potencia presente en el módulo C
Vm_300	Voltaje máximo generada en el módulo C
Im_300	Corriente máxima generada en el módulo C
Pm_300	Potencia máxima generada en el módulo B

Fuente: Elaboración Propia

Con esto ya hemos definido las principales variables de nuestro sistema, a continuación daremos la explicación de cómo se realizó el SCADA.

4.4 Desarrollo del sistema SCADA

En esta parte de la tesis, se procederá a configurar el SCADA a través de los software de Rockwell, entonces los pasos a seguir son los siguientes :

- a) Se debe crear un Slot 1 que represente el procesador o el controlador y determinar nuestras variables de entrada y salida discretas.

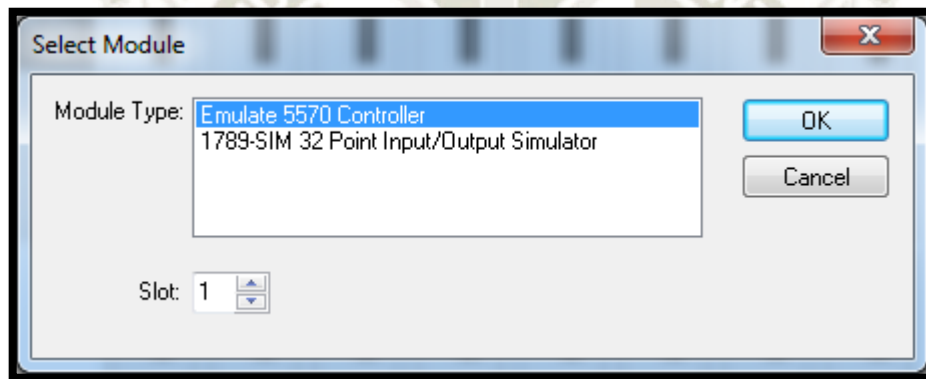


Figura 79. Creación de Slot para Control de Variables
Fuente: Logix Emulate

Se debe usar un procesador que soporte la versión 30 del programa Studio 5000, como se muestra en la siguiente Figura 80.

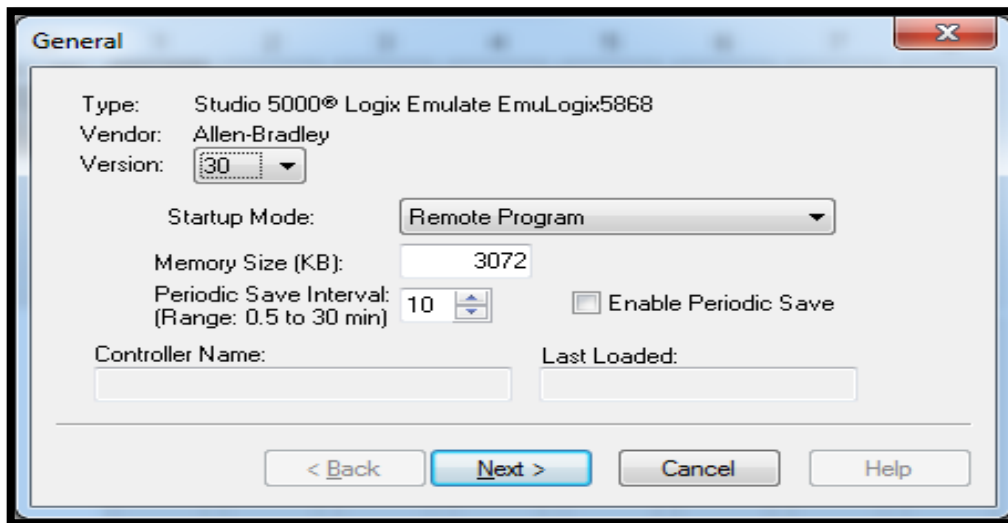


Figura 80: Emulador de Studio 5000 Logix Emulate
Fuente: Logix Emulate

b) La configuración y programación se realiza en Studio 5000, pero antes debemos configurar en "Logix Emulate" nuestro emulador y controlador que permitirá la creación del entorno, en nuestro caso un PLC para realizar el SCADA eléctrico, es importante señalar que la conexión entre todo el sistema se realiza a través de RS Linx que es el servidor de conexión de Rockwell automation, en la Figura 81, se ve la pantalla de Logix Emulate.

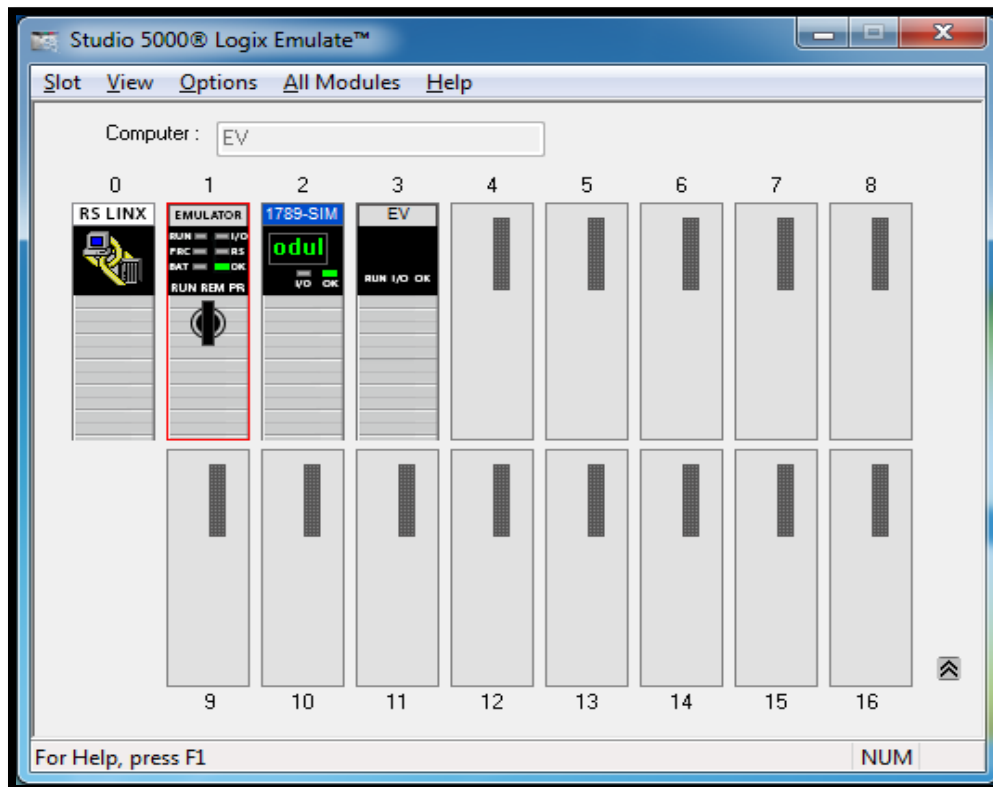


Figura 81: Pantalla Principal de Logix Emulate
Fuente: Logix Emulate

c) El siguiente paso es ir a Studio 5000 y definir las variables de entrada y salida que utilizaremos en nuestra programación BCD y Ladder con el único propósito de realizar la simulación de nuestro proyecto y poder visualizarlo de una manera más concreta, las variables que se definen representan las entradas y salidas para la programación y las operaciones matemáticas que se usaran para la lógica. Ahora se procederá a crear las variables de entrada y salida de acuerdo a la norma (código eléctrico) que son la NTCSE e IEC 60870, esto se puede visualizar en la Figura 77, después de la definición de variables en el main routine, se procede a la programación en BCD y Ladder, para cada módulo existe una sub-rutina, la cual ya hemos definido anteriormente, esto se puede visualizar en la Figura 82.

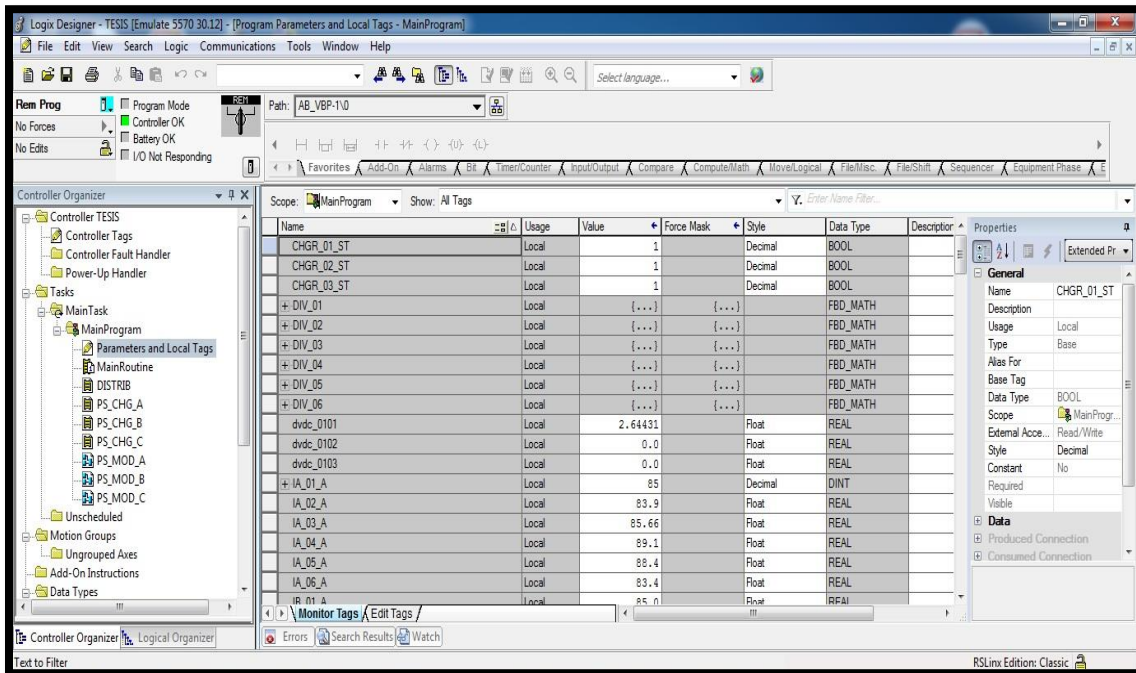


Figura 82: Definición de las Variables de Entrada y Salida en Studio 5000
Fuente: Studio 5000

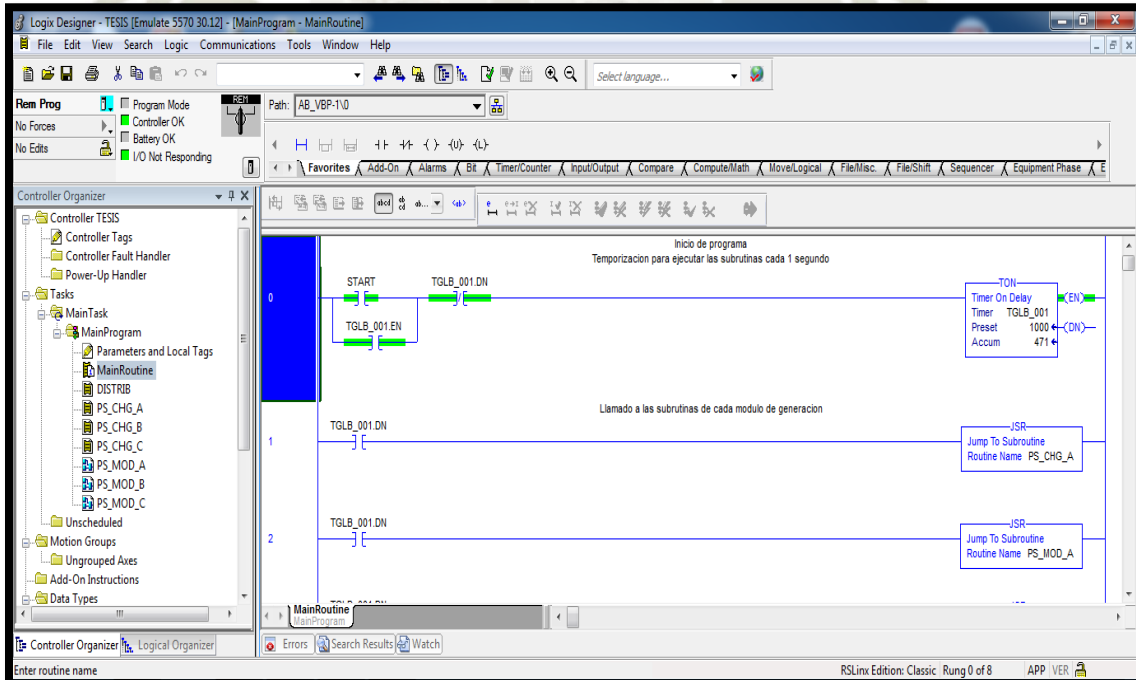


Figura 83. Programación en Ladder en Studio 5000
Fuente: Studio 5000

4.5 Simulación del Sistema SCADA

El siguiente paso es propiamente la simulación del circuito en Factory Talk View, esto nos acerca más al circuito de la generación y distribución de la planta solar de 51.7 MW, ubicada en Arcata. Para ello se ha tomado los mismos datos que hemos definido en el capítulo 3, tanto para tensiones, corrientes y potencias, con la programación ya realizada ahora se procederá a realizar la simulación en el SCADA, a continuación se presenta el diseño de la etapa de generación en Factory Talk View en la Figura 84.

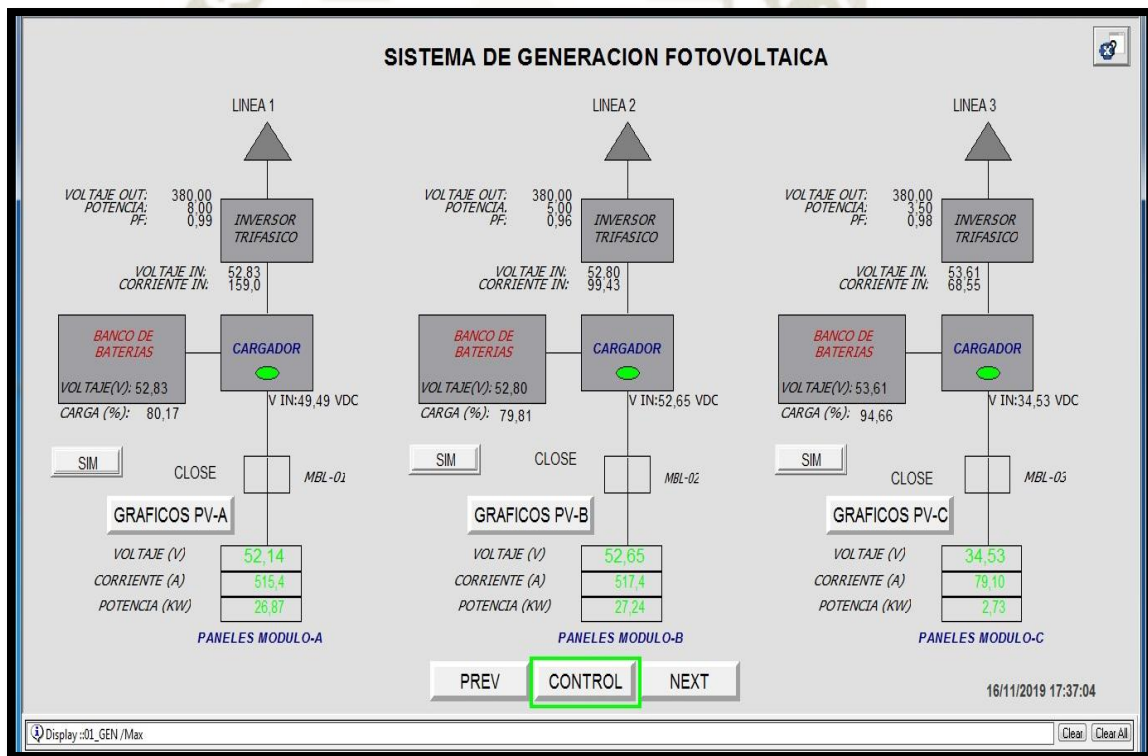


Figura 84: Sistema de Generación Fotovoltaica en Factory Talk View
Fuente: Factory Talk View

Como se puede apreciar en la Figura 67, el sistema de generación, está conformada por los módulos de los paneles solares (A, B y C), donde están conectados a los cargadores, al banco de baterías, y al inversor trifásico , donde luego se conectaran a la fase de distribución.

Para cada módulo se ha designado de la siguiente manera, para los módulos A y B hay 6 sub-módulos (cada sub-módulo tiene 10 paneles, de una matriz de 2 serie x 5 paralelo) mientras que para el módulo C, se tiene 2 sub-módulos (cada sub-módulo tiene 12 paneles, de una matriz de 2 serie x 6 paralelo), las Figuras 85, Figura 86 y Figura 87 se puede apreciar la distribución de los módulos.

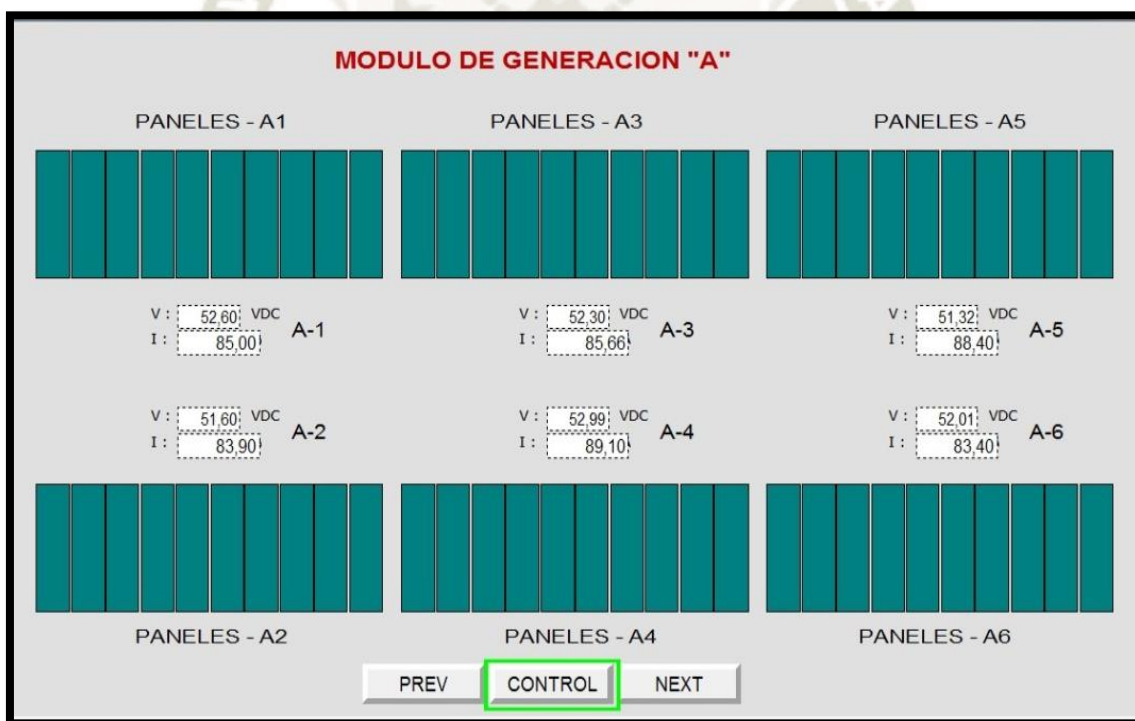


Figura 85: Módulo de Generación A en Factory Talk View
Fuente: Factory Talk View

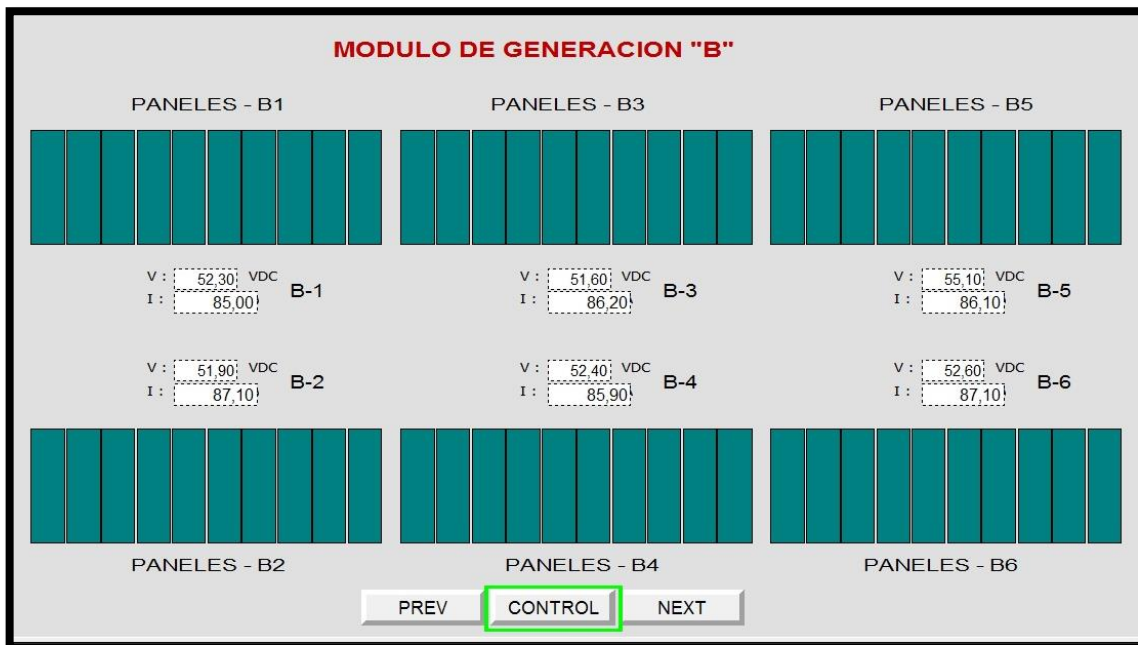


Figura 86: Módulo de Generación B en Factory Talk View
Fuente: Factory Talk View



Figura 87: Módulo de Generación C en Factory Talk View
Fuente: Factory Talk View

Nota: el voltaje nominal para cada sub-módulos de paneles es de 48 V, sin embargo , las tensiones varían de acuerdo a cada sistema, dando una pequeña elevación de la tensión para los tres módulos, esto sucede respecto al tiempo que va transcurriendo en la simulación.

Para la generación de la gráfica de la potencia generada respecto al tiempo, se consideró el tiempo de la computadora como servidor, ya que al estar en una simulación y no tener una conexión real o física del sistema, sería la única manera factible de realizar dicha gráfica, el tiempo será tomado en minutos, con un inicio desde las 6:00 am aproximadamente hasta las 6:00 pm, donde la radiación solar va disminuyendo con el paso del tiempo, en horas de la mañana nos damos cuenta que la radiación es mucho mayor dado la curva de la gráfica, lo cual sería lo esperado, en la Figura 88 se aprecia la gráfica de la potencia generada respecto al tiempo del módulo A.

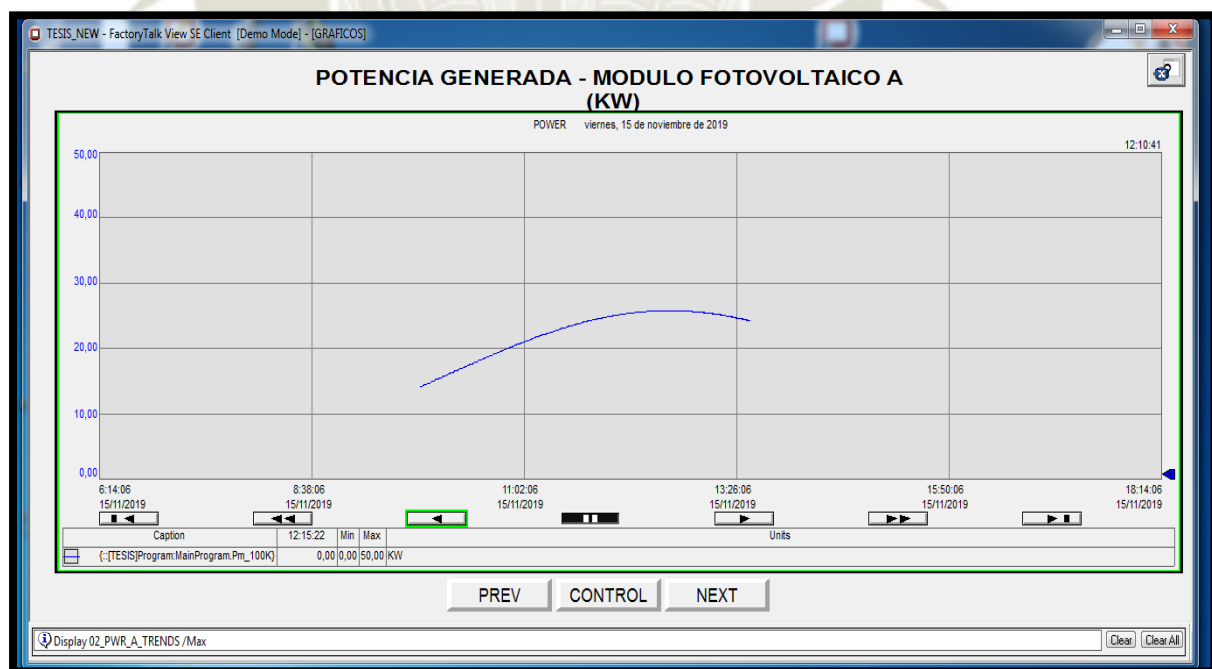


Figura 88 :Potencia Generada en el Módulo A
Fuente: Factory Talk View

Según la Figura 88, la gráfica de la potencia respecto al tiempo del módulo fotovoltaico A, tiene forma de una campana, esto quiere decir, que los valores de la potencia aumentan, conforme pase el tiempo, y la radiación es mucho mayor en horas de la mañana, en la Tabla 33 se muestran los valores simulados.

Tabla 33:
Valores de la Potencia Generada Respecto al Tiempo

Horas en el día (am)	Potencia (kW)
6:00-7:00	7
7:00-8:00	10
8:00-9:00	12
9:00-10:00	15
10:00-11:00	20
11:00-12:00	24
12:00-1:00	23

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 33 el máximo valor de potencia del módulo fotovoltaico es 24 kW, y ese valor es el valor total de la capacidad del módulo fotovoltaico ya calculado anteriormente, se debe tener en cuenta que en una instalación real estos valores pueden variar, debido a diversos factores que se pueden presentar en el tiempo como las inclemencias del clima o perdidas por factores externos.

La sección de la carga de nuestro sistema está compuesto por el regulador o cargador y el banco de baterías, luego de que cada módulo nos ofrece las variables de salida (voltaje, corriente y potencia) estas deben ingresar al cargador que designado y dejar pasar la energía necesaria para alimentar nuestro banco de baterías, en el transcurso del paso de energía por parte de los módulos solares hacia el regulador se debe tener en cuenta que habrá una caída de tensión, debido a variables externas o pérdidas que se generan en el cable conductor, con lo cual el voltaje no es el mismo.

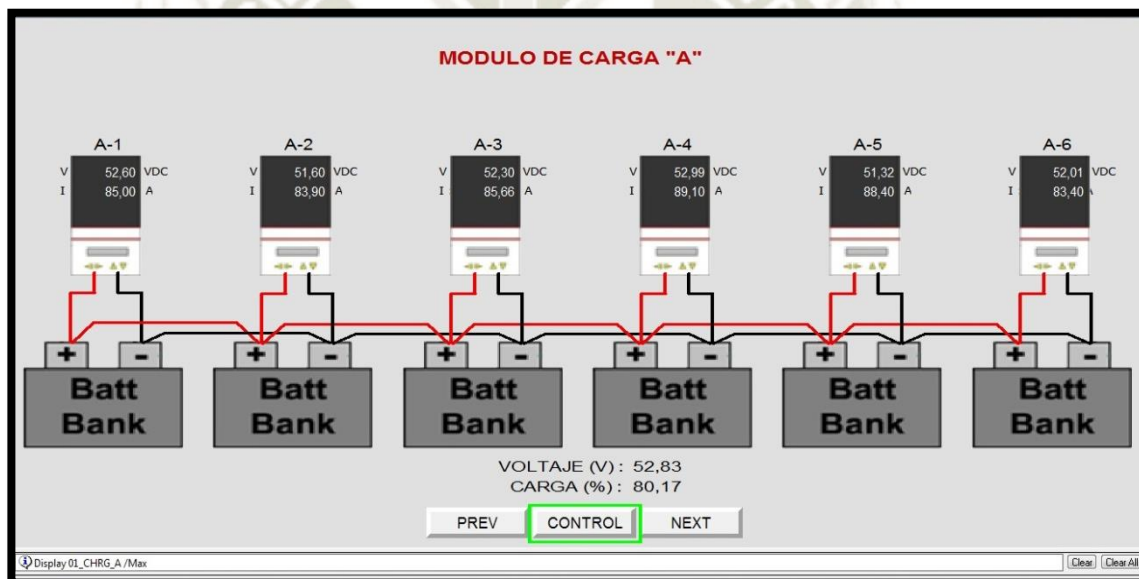


Figura 89: Módulo de Carga "A"
Fuente: Factory Talk View

Como se aprecia en la Figura 89, la distribución de los reguladores de carga para el módulo A, se dispuso de 6 reguladores de voltaje para los 6 sub-módulos de paneles ya definidos, a su vez cada regulador dispone de un banco de baterías, donde por cada banco de

baterías se tiene 24 baterías, lo que en total nos suma para todo el módulo de carga A = 144 baterías, la misma cantidad se agrupa para el módulo de Carga B.

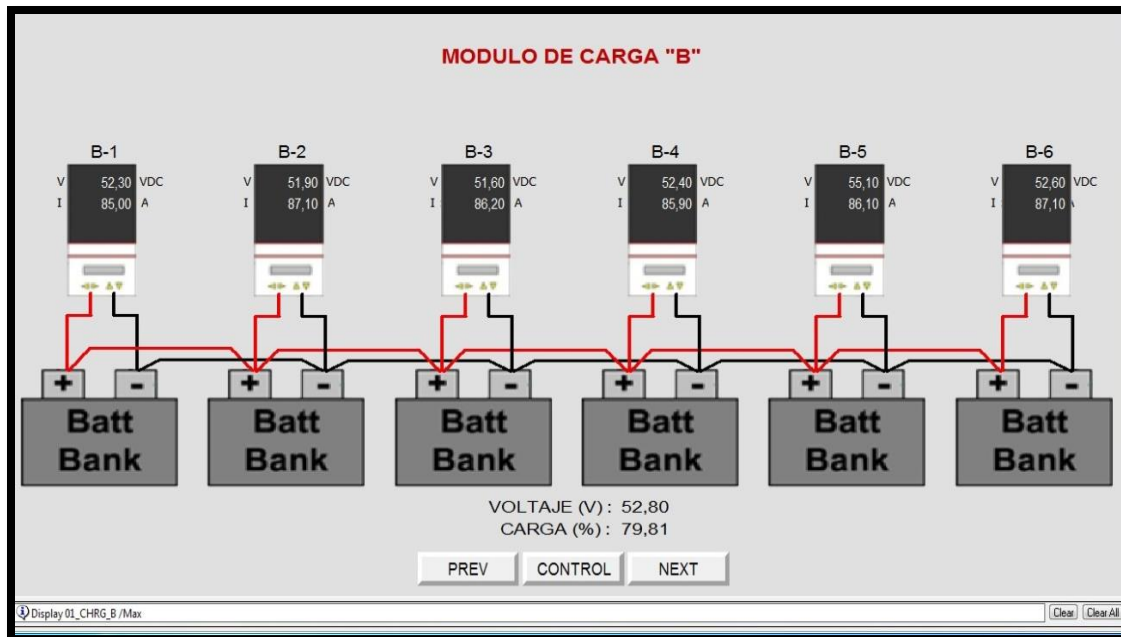


Figura 90: Módulo de Carga "B"

Fuente: Factory Talk View

Para el módulo C, la distribución de los reguladores es el siguiente, dos reguladores de tensión, donde cada regulador tiene un banco de 4 baterías lo que nos da un total de 8 baterías para el módulo de carga C, al final se tiene un voltaje de salida de aproximadamente unos 52 o 53 voltios aproximadamente, esto va a depender del porcentaje de carga de las baterías por parte del módulo C .

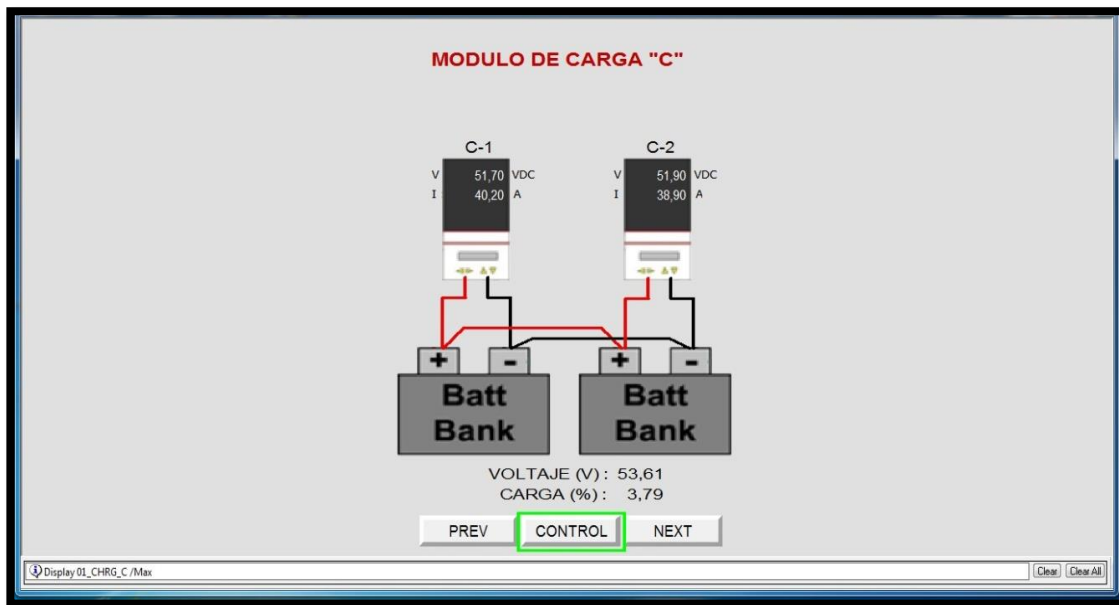


Figura 91: Módulo de Carga "C"

Fuente: Factory Talk View

Como ya se tiene un voltaje por parte de la etapa de carga que ofrece nuestro banco de baterías, el equilibrio de energía se dará entre la salida del banco de baterías y las características de entrada del inversor, de esta manera existirá el balance energético requerido, el inversor se encargara de convertir la energía DC en energía AC que es requerida para cada uno de nuestras líneas que son destinadas a los usuarios o clientes finales en la etapa de distribución., Figura 87.

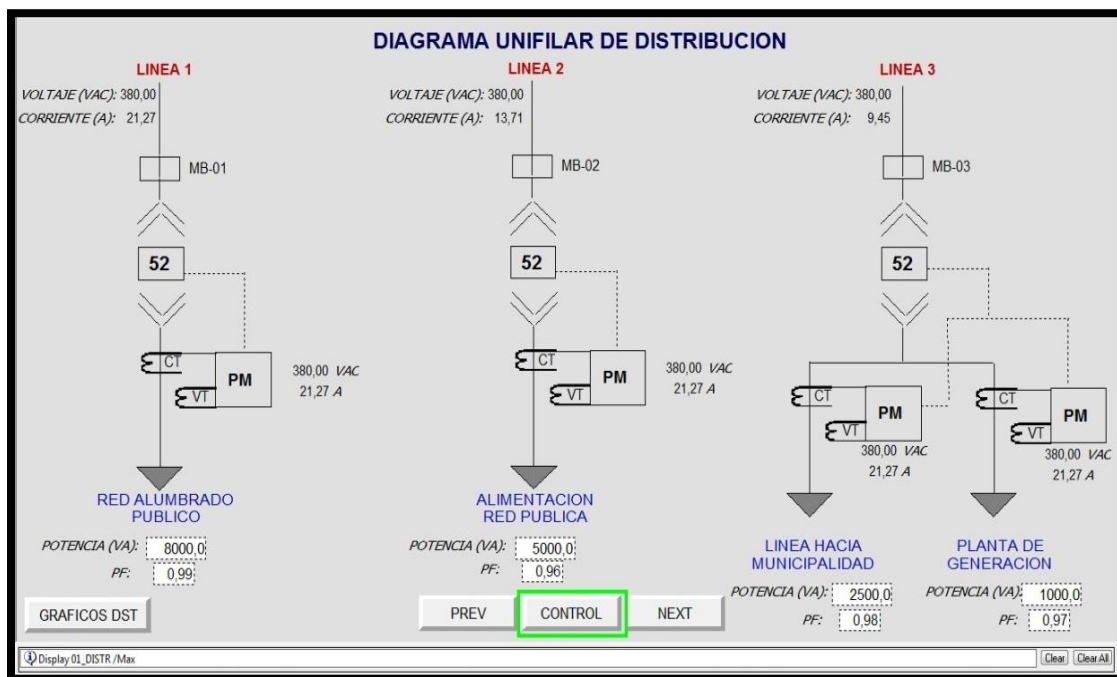


Figura 92 : Diagrama Unifilar de Distribución.
 Fuente: Factory Talk View

Para la etapa de distribución, se ha definido tres líneas para los usuarios o cargas finales, cada línea trabaja entre 220-380 VAC, que es el voltaje de salida que ofrece el inversor en corriente alterna, ya que las cargas finales trabajan a baja tensión, como medida de protección se dispuso de un interruptor automático que estará ubicado en una caja conjuntamente con un medidor de energía PQM que se encargara de medir la energía que transita por cada línea, su función es imprescindible pues permite o no el paso de energía que el sistema requiere, al existir un consumo de energía excesivo por parte de las cargas el interruptor procederá a abrirse y el paso de energía cesará, de esta manera no habrá mayores incidencias en el consumo de energía y protegerá de la sobrecarga a los equipos. Nota: las normas para los símbolos que se usaron en el SCADA son la NTCSE y la IEC 608070

4.6 Monitoreo y protocolo de comunicación

Para lo que es el monitoreo en una en la etapa de generación, el cargador solar, se encargara de obtener los datos de interés del sistema, registrar datos y ajustar parámetros. Las variables se obtienen por medio del protocolo de comunicación Modbus, luego son transportadas por una arquitectura de comunicación, y finalmente por medio del protocolo OPC son llevadas al SCADA

La OPC que se maneja es la OPC UA , que es la evolución de la tecnología OPC clásica, que a diferencia de OPC no tiene tantas restricciones (de red, dominios diferentes, etc,) como su antecesor. Este estándar lo ha incluido Rockwell automation, en su software de comunicaciones Factory Talk Linx, también conocida como RS Linkx, este último es el servidor de conexión para el portafolio del software de Factory Talk como RS LOGIX, STUDIO 5000 y FACTORY TALK VIEW y los dispositivos IoT industriales a manejar, en nuestro caso todos los equipos para nuestro sistema de paneles solares. (infoPLC++, 2018).

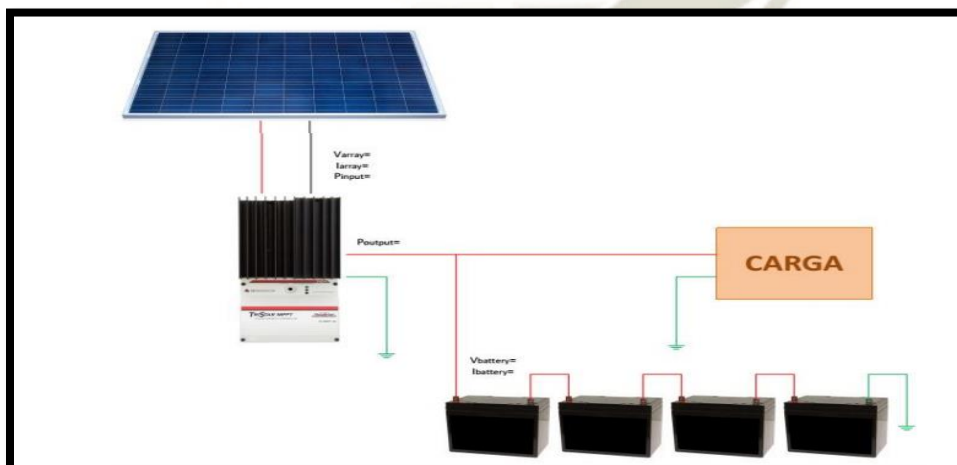


Figura 93: Esquema de Conexión Solar Fotovoltaica con Regulador TS-MPPT 60
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

5.1 Presupuesto

Para la estimación del presupuesto se hizo una relación de todos los equipos y activos necesarios para el desarrollo de la planta solar fotovoltaica desarrollada en Arcata, a continuación la lista de detalles se da en la Tabla 34.

Tabla 34:
Equipamiento de los Equipos a utilizar y sus Costos

PLANTA FOTOVOLTAICA - 51.7 MW							
1. Equipamiento	Q	Descripción	Modelo	Precio unitario	Precio total \$		
1.1 Módulo Solar	Panel Solar						
<i>I.- Módulo A</i>	60	Panel Solar de 400 W, V-nom. 24, Vpm: 41.7, Vos: 49.8V, corriente(Ipm : 9.6 A ,Isc:10.36 A)	ERASO LAR	300	18000		
<i>Serie</i>	2						
<i>Paralelo</i>	30						
<i>II.- Módulo B</i>	60				300	18000	
<i>Serie</i>	2						
<i>Paralelo</i>	30						
<i>III.- Módulo C</i>	24				300	7200	
<i>Serie</i>	2						
<i>Paralelo</i>	12						
<i>IV Repuestos</i>	40					300	12000
1.2 Regulador							
<i>I.- Módulo A</i>	6	Reguladores de 60 A , tensión de circuito abierto 150V	Regulador -TS-MPPT-60	680	4080		

<i>II.- Módulo B</i>	6	Reguladores de 60 A , tensión de circuito abierto 150 Vcc	Regulador -TS- MPPT- 60	680	4080	
<i>III.- Módulo C</i>	2	Reguladores de 60 A , tensión de circuito abierto 150 Vcc	Regulador -TS- MPPT- 60	680	1360	
1.3. Baterías						
<i>I.- Módulo A</i>	24	Matriz de 24 baterías en serie de 12 V y 550 A-h. (8 baterías por cada cargador)	UP-GG- 16, 6RE- 550Ah	504	24192	
<i>II.- Módulo B</i>	24	Matriz de 24 baterías en serie de 12 V y 550 A-h. (8 baterías por cada cargador)	UP-GG- 16, 6RE- 550Ah	504	24192	
<i>III.- Módulo C</i>	8	Matriz de 8 baterías en serie de 12 V y 550 A-h. (8 baterías por cada cargador)	UP-GG- 16, 6RE- 550Ah	504	4032	
1.4. Inversores						
<i>I.- Módulo A</i>	1	Inversor de 15 kW , voltaje de entrada 48 V, 50/60 Hz. frec salida , Voltaje de salida 220v-380v	Sigineer Power	2700	5600	
<i>II.- Módulo B</i>	1	Inversor de 24 kW , voltaje de entrada 48 V, 50/60 Hz. frec salida , Voltaje de salida 220V-380V	Sigineer Power	5600	5600	
<i>III.- Módulo C</i>	1	Inversor de 5 kW , voltaje de entrada 48 V, 50/60 Hz. frec salida , Voltaje de salida 220V-380V		805	805	

<i>Reposición</i>	1	Para reposición		9105	9105	
1.5 Medidor digital de Energía	3	Contador trifásico de Energía con Display	DTS27	420.78	1262.34	
1.6. Cableado.						
<i>I.- Paneles y Regulador</i>	720	Cable solido de Cu, 48 A, 16mm ²	Indeco o similar	1.3	936	
<i>II.- Regulador - Batería.</i>	115	Cable solido de Cu, 7,44 A, 16mm ²	Indeco o similar	1.5	173	
<i>III- Batería- Inversor.</i>	142	Cable solido de Cu, 7,44 A, 150 mm ²	Indeco o similar	1.6	227	
<i>Otros</i>	500	Cable solido de Cu, 7,44 A, 50mm ⁶	Indeco o similar	2.6	1300	
1.7 Soporte- Estructuras						
<i>Soportes -Módulo</i>	144	Estructura Elevada 20°ELV915 2x5 y 2 x6		1586	228384	
<i>Soporte-Repuestos</i>	30	Para reposición Mantenimiento.		350	10500	
<i>Monitoreo</i>	1	Kit Sistema de monitorización compuesto por Display SAC y comunicación GPRS	SAC + GPRS	6000	6000	
<i>Control Sensores</i>	1	.-Kit Sistema Sensores Climático MET	MET 3	7000	7000	
1.8.Elementos Instalaciones Eléctricas.						
Conexiones Eléctricas	340	Conectores - cables- equipos		8	2722	
Conexiones Eléctricas	50	Cajas estanca en campo de paneles		25	1250	
Conexiones Eléctricas	25	Cajas Seguridad		15	375	

Conexiones Eléctricas	6	Caja de protecciones y contadores		220	1320	
Conexiones Eléctricas	6	Cajas de protección con portafusibles seccionables y Diferenciales		150	900	
Conexiones Eléctricas	4	- Armario de protección y medida. Incluye contador bidireccional de energía de producción y consumo, diferencial y magneto térmico		850	3400	
Red Tierras	8	Red de tierras Módulos A-B-C y otros equipos.		2800	22400	
1.9 Sistema SCADA						
Software Rockwell Automation	1	Servidor OPC, Factory Talk View, studio 5000, Rs Linkx, Rs logic		5000	5000	
Computadoras	8			2500	20000	
PLC	1	Controlador lógico programable	AC500 ABB	1000	1000	
1.10 Sistemas de Seguridad Física-	1	Kit de Seguridad . Cerco electrico- Camaras -Sensores - Sist. C/Incendio		25000	15000	
1.11 Sistemas de Control Calidad	1	Laboratorio Control Calidad		25000	25000	
1.12 - Sistemas de Mantenimiento Equipos.	1	Laboratorio Mantenimiento Equipos		22000	22000	
1.12 Sistemas de Telecomunicaciones.	1	Kit de Central telefonica-10 anexos. Computadoras- Internet-Cable-radio		25000	25000	

1.13. Mobiliario Oficinas-Almacén	1	Kit de Mobiliario Oficinas (10 módulos)		20000	20000	
1.15 Repuestos.	1	Kit de Repuestos para recambio.		30000	30000	
1.17 Instalación Equipos	1	Instalación equipos- Dirección Técnica- Pruebas.				
	144	Instalación Paneles		85	12240	
	144	Instalación Soportes		60	8640	
	20	Instalación Equipos (reguladores. Conversores.		400	8000	
	kit	Instalaciones Eléctricas- cableado			10000	
Total Equipos						628275
2. OBRA CIVIL						
2.1 Terrenos	30000 m ²	Terrenos en la zona 3 hs-Eriazo- Arcata		8	240000	
2.2 Acondicionamiento	30000 m ²	Nivelado-compactado		2	60000	
2.3. Accesos		Zona de acceso a la planta		3	30000	
2.4 Vallado perimetral	12000 m ²			12	144000	
2.5 Techado-Ligero	1200	Techado zona Planta Oficinas- Techo Ligero		40	48000	
2.6 Pisos	1200	Piso zona Planta Oficinas- Concreto simple.		32	38400	
2.8 Estructuras y Muros Oficinas- Planta.	400	Columnas- Muros zona Oficinas-Planta		45	18000	
Total						578400
3. INTANGIBLES						
3.1 Estudio de suelos	1	Estudio Suelos y Geológicos Zona		12000	12000	
3.2 Estudios Climáticos	1	Estudio Climáticos Zona		12000	12000	
3.3 Estudios de radiación	1	Estudio radiación de la Zona		12000	12000	

3.4 Tramites	1			5000	5000	
otros					56000	97000
4. CAPITAL TRABAJO						6992
TOTAL						1310667

Fuente : Elaboración Propia

Se tiene un costo anual de 1 310 667 \$, dólares americanos, lo cual es un valor normal o aproximado para este tipo de plantas, el ítem de obra civil se hizo en base a la medida del terreno donde se ubica la planta que es de 30000 m², esto se puede apreciar en el plano de distribución de la planta ubicada en los anexos finales. Los estudios previos o intangibles se realizan en el primer año de ejecución de la obra, como: estudios de suelos, climáticos, radiación, expedientes técnicos, asesorías, etc., lo que quiere decir que los costos de estos servicios serán temporales y por ende la reducción de gastos se irán reduciendo a lo largo de los años.

5.2 Costo Anual de Operación, Mantenimiento y Administración

El costo anual de operación, mantenimiento y administración se considera como los gastos anuales fijos, donde se incluye los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo de la planta solar fotovoltaica, se estima en un 2 % de la inversión ya sea por el mantenimiento de los equipos como las baterías por ejemplo, se tiene la Ecuación 15.:

$$\text{Costo de operacion y mantenimiento} = 2 \% \times \text{Costo de operacion} \quad (6)$$

$$= 2 \% \times 1\,310\,667 \$$$

$$= 26213.34 \text{ USD}$$

Por lo tanto este costo representa la operación, administración y mantenimiento de la planta solar fotovoltaica como costo anual, por lo tanto se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{Costo de operación y mantenimiento} &= 28657.34 \text{ USD} / 51.966 \text{ kWh} \\ &= 0.5044 \text{ USD/kWh} \end{aligned}$$

En la Tabla 35 podemos ver los componentes y el resultado del costo en el primer año, se estima que para los próximos años el costo disminuya, teniendo así un ahorro significativo en todos los costos de los componentes.

Tabla 35
Costos de Producción Anual de planta solar fotovoltaica

Costo Operativo- U\$-kW			
Componente	Año-1	Año-6	Año-10
Mantenimiento	0.182	0.0912	0.0608
S.Control de Calidad	0.091	0.0456	0.0304
S. Seguridad	0.091	0.0456	0.0304
Operación	0.062	0.022	0.0365
Administración	0.062	0.022	0.039
Gto Administr.	0.062	0.022	0.065
Cto Total	0.551	0.226	0.112

Fuente: Elaboración Propia.

Los costos operativos demuestran que este tipo de plantas, se rentabilizan en función al tamaño o escala de producción. Las plantas superiores a los 100 MW, tienen ya costos operativos competitivos y niveles de rentabilidad adecuados.

Esta es la razón por la que inicialmente estas plantas requieren de un subsidio o financiamiento adicional por parte del Estado con depreciación acelerada, para el caso de la

generación eléctrica a través de la energía renovables de hasta un 20 % anual, con respecto a las maquinarias, obras civiles y equipo construido o adquirido, de esta manera la rentabilización de estos tipo de proyectos es más eficiente y económica.

Esta situación se ha dado en todo el mundo y en el caso peruano se hace a través de las Licitaciones Públicas para RER (Recursos Energéticos Renovables), que otorgan un subsidio.

5.3 Análisis Económico

El tiempo de recuperación de la inversión inicial dependerá de varios factores como: la venta de energía anual que tiene un valor aproximado de \$ 2.56 kWh, y que a su vez cada año que transcurra el valor de la tarifa aumentaría, y por otro lado la depreciación acelerada por parte del estado como un beneficio o subsidio adicional, se tiene lo siguiente:

Costo de energía promedio anual = \$2.56 kWh

Costo sistema del sistema 51.7 MW = \$ 1 432 867

Energía Generada Anual= 51.966 MWh

Ahorro de energía generada= \$ 2.56 kWh * 51 966 kWh = \$ 133 032.96

Tiempo de recuperación = \$ 1 432 867/\$ 133 032.96 =10.77

Finalmente el tiempo de recuperación de la inversión oscila entre 10 y 11 años aproximadamente

Una vez calculado el tiempo de recuperación, el precio irá disminuyendo debido al incremento de la tarifa de energía conforme pase el tiempo a lo largo de los años, ya con ello la deuda final anual se reduce hasta el año 10, el financiamiento se pagaría hasta ese mismo año, a partir del año 11 hacia adelante se obtendría las ganancias o beneficios, generalmente la vida

útil de este tipo de infraestructura productiva para la generación de energía fotovoltaica es de 25 años, ver la Tabla 36.

Tabla 36:
Plan de Inversiones de la Planta Solar Fotovoltaica

PLAN DE INVERSIONES			
	AÑOS		
	1	5	10
Inversiones		10%	10%
Obra Civil	-578400	-57840	-5784
Equipos	-628275	-62827	-6282.7
Intangibles	-97000	-9700	-970
C. Trabajo	-6922	-692.2	-69.2
	-1310667	-131059.2	-13105.9

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 32 podemos visualizar que el costo de la inversión en la planta solar fotovoltaica es de 1'310667 \$ en el primer año, suponiendo que exista un financiamiento adicional por parte de algún ente competente o de interés para el desarrollo de este tipo de tecnologías, se considera un interés adicional del 10 % a la deuda inicial, dando una deuda final en el primer año, la Ecuación 16 describe la expresión siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{Deuda Final} &= \text{Deuda inicial} \times 10\% \text{ interés} && (7) \\
 &= 1310667 \times 10\% \\
 &= 131059.2
 \end{aligned}$$

Con lo cual, este mismo interés se tendría que pagar cada año, y con ello el aumento de la venta de energía por año, esto sería hasta el año 10 y posteriormente el año 11, se obtendrían los beneficios o ganancias esperadas.

5.4 Ingresos Financieros

Los ingresos de la planta solar fotovoltaica han sido planificado en base a dos tipos:

a) Ingresos por venta de la energía .

Los ingresos de se pueden obtener mediante la comercialización de la energía renovable generada según la norma vigente (OSINERMING). La venta de energía a tarifa de mercado, se ha estimado en 0.27 U\$ por kWh al mes y anualmente un promedio de 2.56 U\$ kWh aprox.

b) Ingresos por Bonos Carbono

Ingresos que se derivan del Convenio de Kyoto y los Programas de Verdes de Contaminación Ambiental, que son promovidos por la ONU y el banco Mundial. Dichos programas otorgan Bonos por un valor de U\$ 14,000 – 20,000 por cada TM(tonelada métrica)de Co₂ que se contribuya a desaparecer., para ello existe un fondo de más de U\$ 4,000 millones que lo administra una Comisión Especial de la ONU. Para este tema, se considera una relación de que 3,700 kWh/año contribuyen a reducir una Tm de Co₂ (Dióxido de Carbono). (Ibarra & Escobar, 2007)

$$1\text{TM (Co}_2\text{)} = 3,700 \text{ kWh/año}$$

CONCLUSIONES

PRIMERA:

Se realizó la evaluación técnico-económica, la selección e implementación de un sistema fotovoltaico para el centro poblado de Arcata ubicada en la provincia de Condesuyos, región de Arequipa, cumpliendo con la normatividad vigente.

SEGUNDA:

La ubicación de la zona de Arcata, que pertenece a la región Arequipa, lo coloca en una posición favorable para el desarrollo de los recursos solares fotovoltaicos favorables y frente a un posible Sistema Eléctrico Nacional deficitario de energía base, ya que puede ser vulnerable ante un escenario de déficit hidrológico o cualquier evento que se pueda producir, el país debe brindar opciones para el desarrollo comercial de las centrales solares fotovoltaicas con miras a la generación eléctrica

TERCERA:

El desarrollo del SCADA eléctrico, se realizó en base a la simulación de los datos propuestos en el desarrollo de la tesis, estos valores varían de acuerdo a la programación realizada, mas no de datos reales, ya que no se conto con equipos reales para su implementación, pero son valores muy cercanos a la realidad, lo cual lo hace un software altamente efectivo y de fácil uso, nosotros elegimos una versión demo, lo cual fue suficiente para poder realizar la implementación de la planta solar fotovoltaica, ya que el software original de la gama de Rockwell automation cuesta aproximadamente 5000 dólares.

CUARTA:

Para el estudio económico se considero de la Central Solar Fotovoltaica la inversión total estimada para la construcción y puesta en operación es de U\$ 1 '432,286.7 para el primer año, luego al posible financiamiento del Estado o algún ente privado se consideró un subsidio del 10 %, sobre los costos de maquinaria, obra civil y demás equipos, por otro lado el del costo de energía promedio aumentaría anualmente, de esta manera la deuda inicial se irá reduciendo , por año, dada a la venta de energía que se establece y también los bonos carbón del protocolo de Kyoto, la inversión se recuperara hasta el año 10, y a partir del año 11 hasta los 25, se obtendrá las ganancias esperadas, la vida útil de este tipo de instalaciones está limitado para 25 a 30 años aproximadamente.

RECOMENDACIONES

- Si bien es cierto, el uso de energía solar es ínfima en nuestro país, estamos en una etapa de crecimiento, con lo cual el estudio realizado en este trabajo, debe ser motivo de estudio y análisis para diferentes zonas del país, donde la energía sea una fuente opcional y porque no primaria.
- El uso de software profesional es de suma importancia para monitorear, supervisar y obtener datos de forma precisa, de esta manera se puede hacer un estudio más exhaustivo de la zona y los implementos que lo conforman, para nuestro caso los paneles solares.
- La tasa de inversión en este tipo de proyectos es alto, al principio debido a la inversión inicial en el proyecto, ya sea obra civil, equipos, intangibles, entre otros, los costos operativos se rentabilizan en función al tamaño o escala de producción. Es importante el apoyo del Estado a través de licitaciones públicas, ya que otorgan un subsidio, igualmente para este tipo de proyecto se puede hacer uso de los bono carbón (Subsidio internacional de la ONU).

REFERENCIAS

- ¿Que es y que hace un regulador de carga solar? (9 de junio de 2020). Obtenido de <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/> (18 de junio de 2018). Obtenido de infoPLC++: <https://www.infoplcn.net/plus-plus/tecnologia/item/105557-rockwell-automation-opc-ua>
- BP Workbook. (2020). Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Cata Sanchez, E. J., & Rodríguez Sócola, F. M. (2015). *Análisis Matemático de un panel solar fotovoltaico de silicio*. Guayaquil.
- Cavasassi, J. L. (2009). *¿Que es una bateria de ciclo profundo?* Buenos Aires, Argentina: Cavadevices.com. Obtenido de <https://cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/BATERIAS%20CICLO%20PROFUNDO.pdf>
- Consultores, M. E. (12 de Feberero de 2015). <http://www.minem.gob.pe/>. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2%20Anexo%20-%20INFORME%201%20-%20DIAGNOSTICO.pdf>
- E. S. (22 de agosto de 2019). *Eliseo Sebastian Energia Solar*. Obtenido de <https://eliseosebastian.com/intensidad-de-cortocircuito-isc-en-paneles-fotovoltaicos/>
- Enel. (20 de Marzo de 2018). *Enel Green Power*. Obtenido de <https://www.enel.pe/es/conoce-enel/prensa/press/d201803-enel-inaugura-la-planta-solar-mas-grande-del-peru.html>
- Energya. (22 de enero de 2020). Obtenido de <https://www.energyavm.es/como-funciona-la-energia-solar-hibrida/>
- Gasca Cruz, O. (2012). *Estudio Tecnico- Economico Para la Implementacion de un Sistema Solar Fotovoltaico en Tiendas de Conveniencia(Tesis)*. Mexico: Instituto Politecnico Nacional.
- Horn Mutschler, M. (Diciembre de 2009). *Matriz Energetica en el Peru y Contribucion de las Energias Renovables*. Obtenido de <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Aprovechamiento%20descentralizado.pdf>

- Ibarra, D., & Escobar, L. (2007). *Mercados de Bonos de Carbono*. Obtenido de <http://tiempoekonomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2017/07/09te2.pdf>
- Ingelibre*. (9 de Noviembre de 2014). Obtenido de <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
- Inversores*. (06 de 2007). Obtenido de https://www.uv.es/emaset/iep00/temas/IEP11_0607.pdf
- (2008). *La ciudad de Arequipa soporta la radiacion mas alta*. Arequipa: Peru21.
- Mamani Mamani, Y. K. (2019). *Determinacion Experimental de la Eficiencia de un Panel Fotovoltaico Marca Sunbe Solar tipo slp 60-12 de 60 W bajo las condiciones ambientales de Puno con enfasis en la intensidad de radiacion solar*(Tesis). Puno . Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12379/Mamani_Mamani_Yhonson_Kennedy_Mamani_Yana_Cristian_Oliver1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martínez Jiménez, A. (2012). *Dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.
- Mena Lasluisa, P., Ortiz Villalba, D., & Mesias, D. (2013). *Diseño de un sistem solar fotovoltaico para el suministro de energia electrica en el nuevo campus de la escuela politecnica del ejercito extension Latacunga*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9139/1/AC-ESPEL-EMI-0268.pdf>
- Mendez Muñiz, J. M. (2007). *Energia solar fotovoltaica*. Madrid: Fundacion Confemetal.
- minas, M. d. (16 de marzo de 1978). Obtenido de <http://www2.osinerg.gob.pe/marcolegal/iso/rd-080-78-em-dge.PDF>
- monsolar.com*. (23 de septiembre de 2020). Obtenido de <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>
- Norma de conexiones para suministro de energía*. (marzo de 1978).
- Palz, W. (21 de octubre de 2013). *Solar Power for the World: What You Wanted to Know about Photovoltaics*. Obtenido de

- https://books.google.com.pe/books?id=qGXvAgAAQBAJ&pg=PA131&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Pascual, E. (28 de abril de 2020). *el blog verde*. Obtenido de <https://elblogverde.com/energia-solar/>
- Peru 21. (s.f.). Radiacion Peru. pág. 3.
- Peru21. (2008). *La ciudad de Arequipa soporta la radiación solar más alta*. Arequipa: Peru21.
- Procobre. (2011). *Conductores Electricos*. Chile.
- Rahmani, I., Seddaoui, N., Kessal, A., & Chauder, A. (8 de septiembre de 2011). Parameters extraction of photovoltaic module at reference and real conditions. *46th International Universities' Power Engineering Conference*. Soest-Alemania: UPEC 2011
- Resch, R. (2006). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el>
- Servo Fluid s.l. (02 de 04 de 2006). Obtenido de <http://servofluid.net/estructuras%20de%20soporte.html>
- Tecnología de los inversores para instalaciones conectadas a la red*. (2008). Obtenido de <http://www.aros-solar.com/es/tecnologia-de-los-inversores-para-instalaciones-conectadas-a-la-red>
- thermokold*. (13 de Febrero de 2019). Obtenido de <http://www.thermokold.com.mx/las-plantas-solares-mas-grandes-del-mundo/>
- unece.org. (2012). *convenio kyoto revisado*. mexico: unece.org.
- Vásquez, A., Tamayo, J., & Salvador, J. (2017). *La industria de la energia renovable en el Peru: 10 años de contribuciones a la mitigacion del cambio climatico*. Lima-Perú: Editores.
- Vásquez, L. y. (2015). *Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa*. Lima,Perú: Tesis Universidad Peruana de Ciencias aplicadas.
- Venegas, T. y. (7 de Julio de 2016). *Evaluación Económica de un Sistema Fotovoltaico Interconectado Basado en Costos Nivelados de Energía*. Obtenido de www.ecorfan.org/spain



ANEXO 1

PLANOS DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA



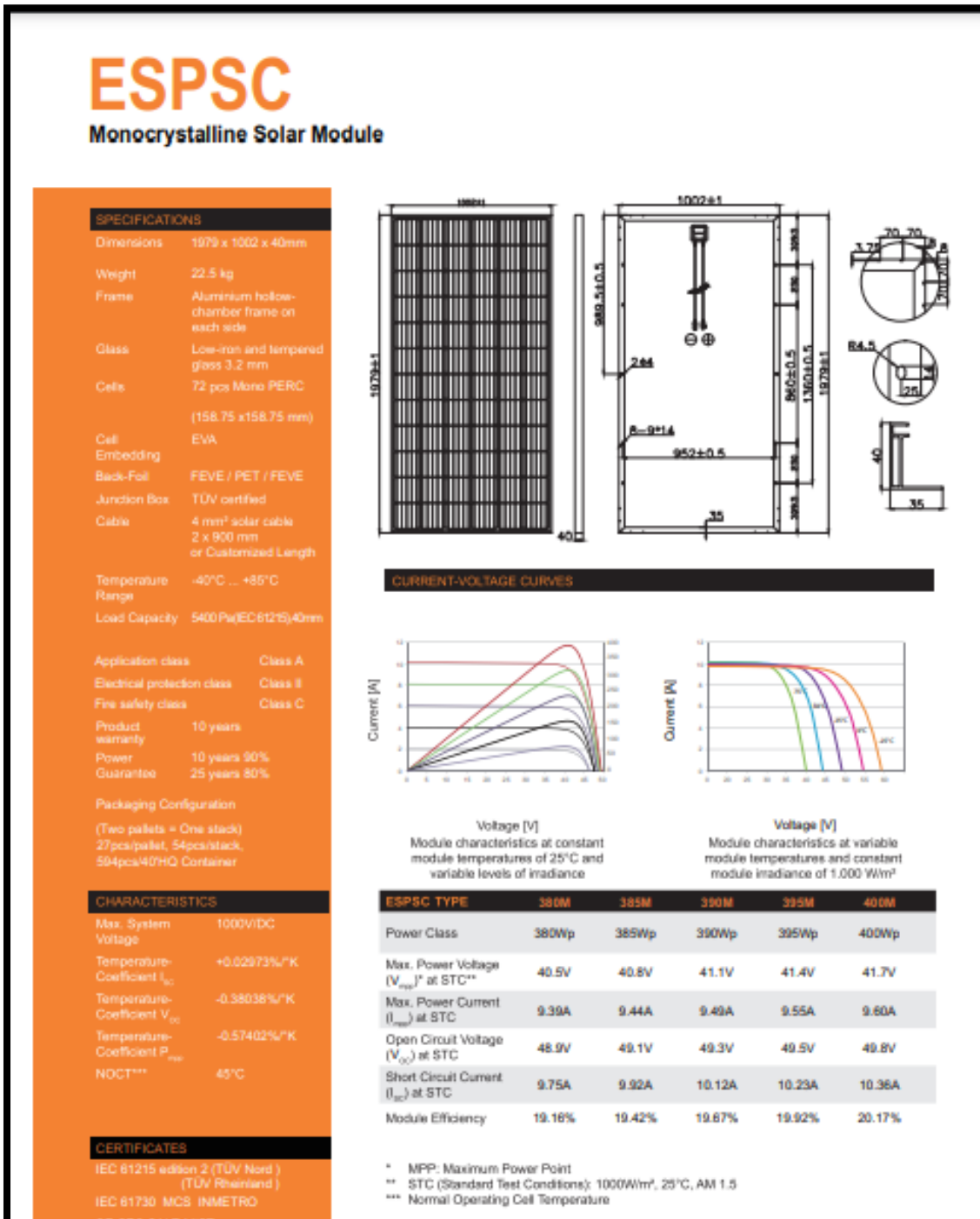


Figura 94: Hoja de Datos del Panel Solar Fotovoltaica ERA SOLAR

Plano 1

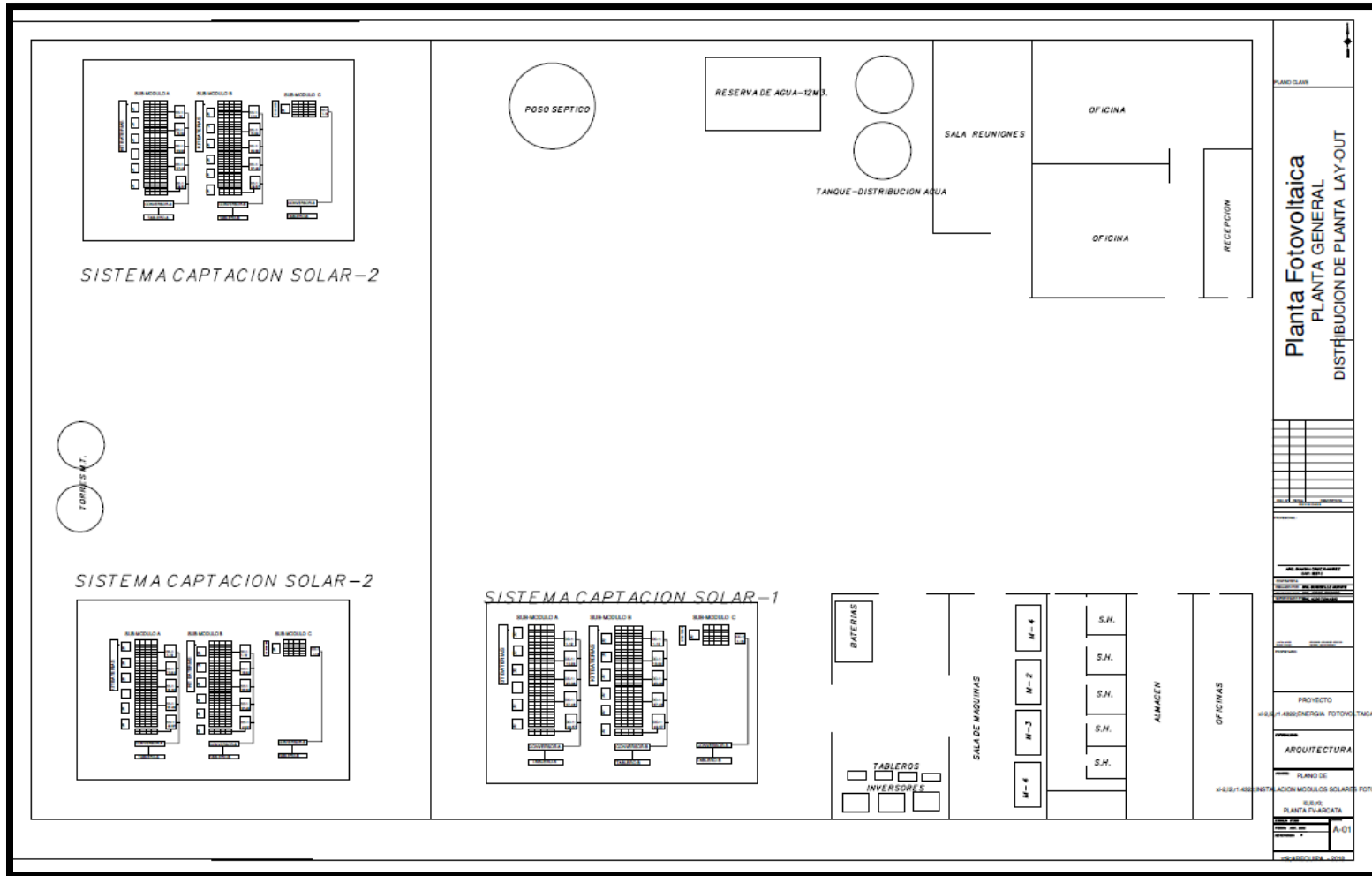


Figura 95: Distribución de la planta Layout
Fuente: Elaboración Propia

Plano 2

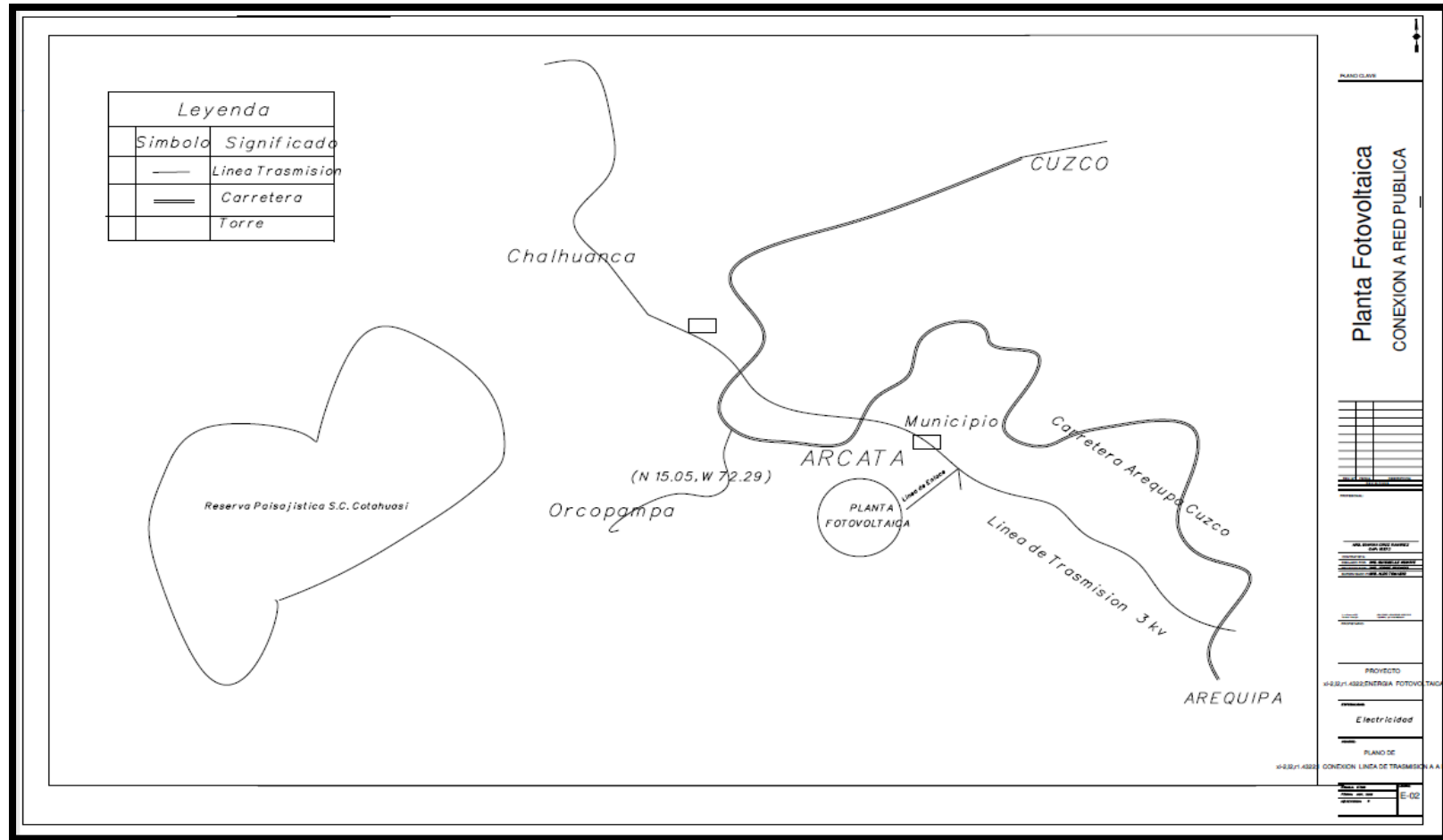


Figura 96: Conexión a Red Pública

Fuente: Elaboración Propia

Plano 3

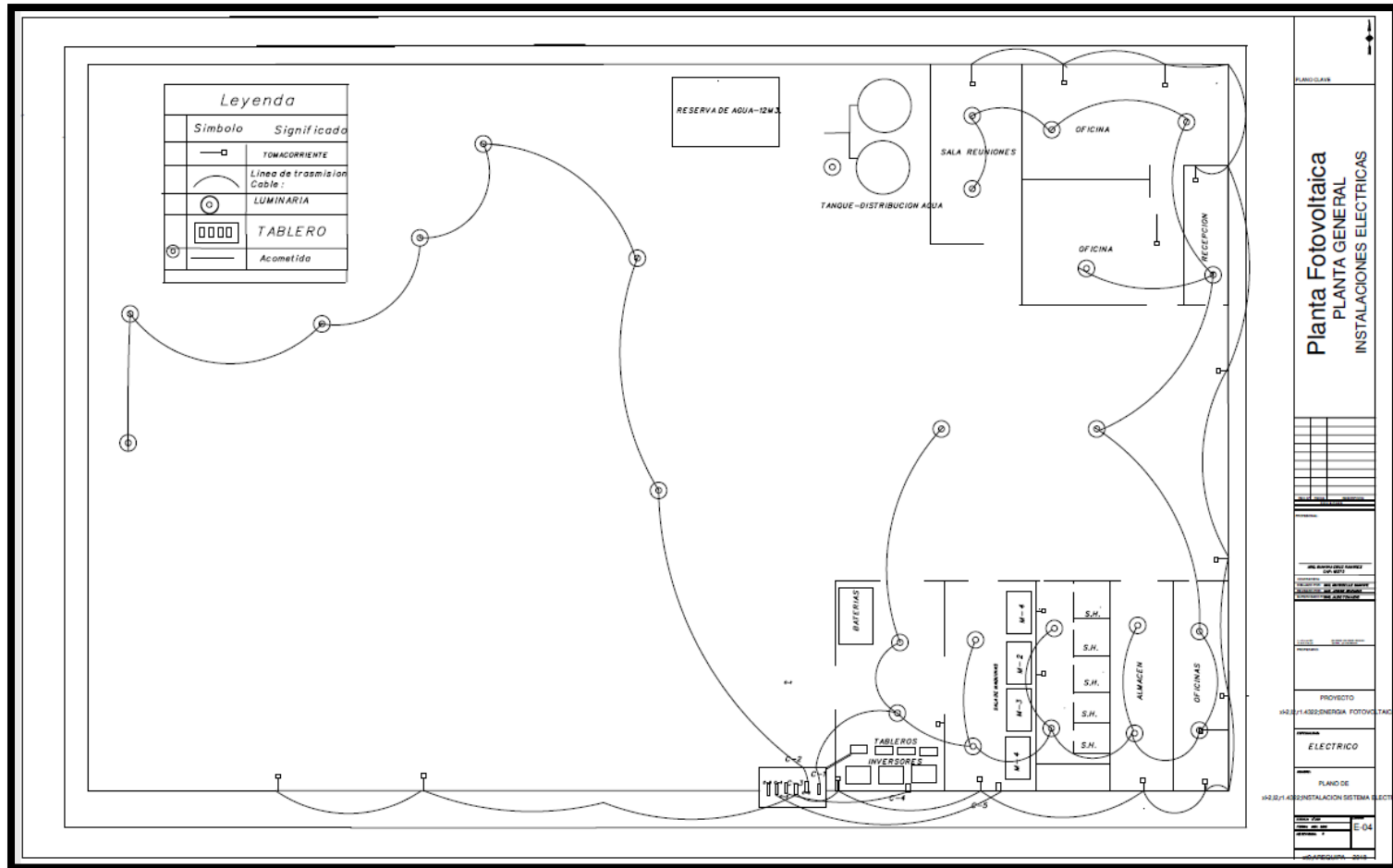


Figura 97: Instalaciones Eléctricas
Fuente: Elaboración Propia

Plano 4

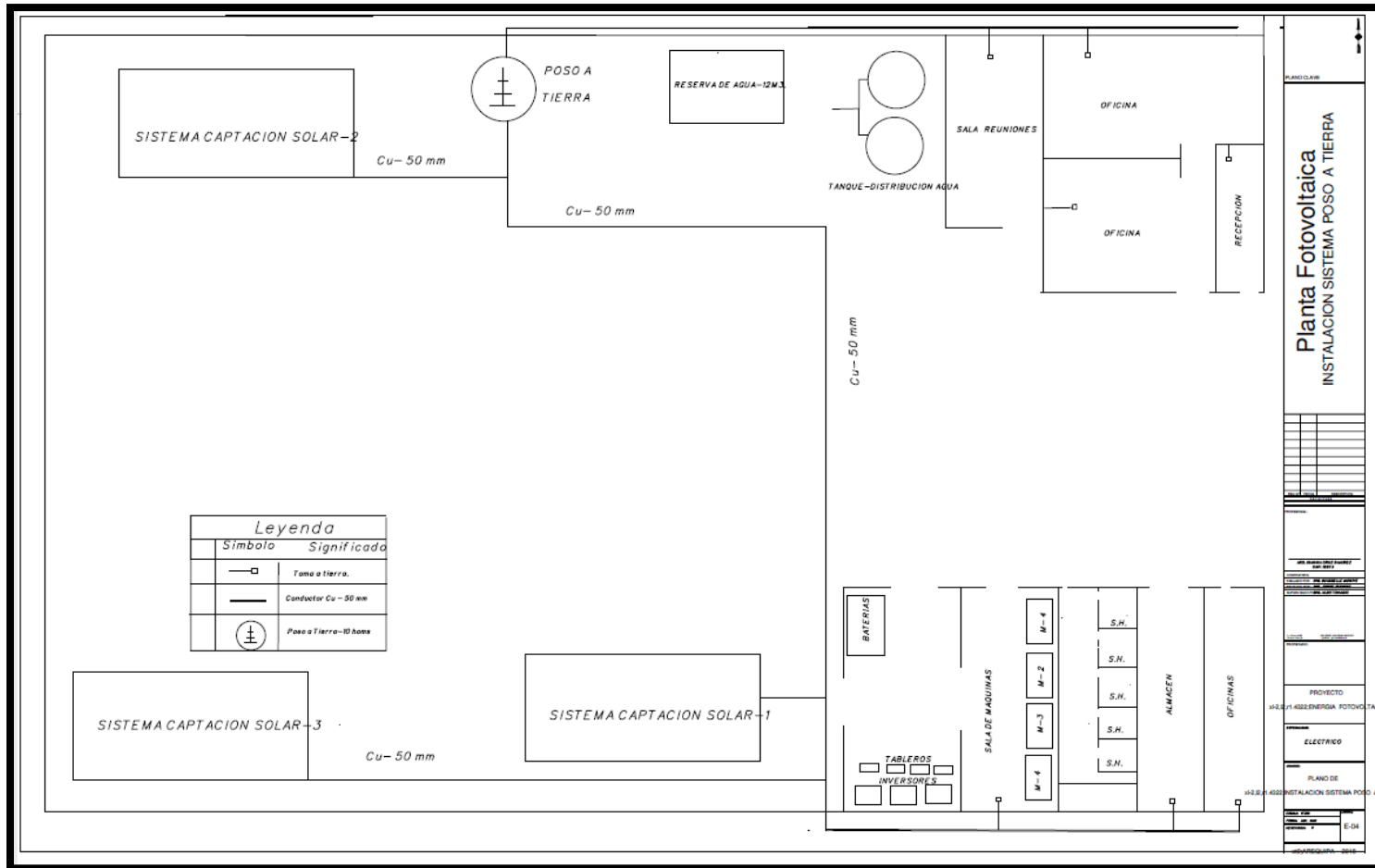


Figura 98: Instalación Pozo a Tierra
Fuente : Elaboración Propia