

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL  
MEDIANTE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA LA PLAZA LAS  
AMÉRICAS EN EL DISTRITO DE CERRO COLORADO-AREQUIPA”**

**Tesis presentada por:**

Araujo Gonzales, Alex Ronaldy

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Mecánico.

**Asesor:**

Ing. Callo Conto, Manuel

**Arequipa-Perú**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Este presente trabajo está dedicado a Dios, por siempre bendecirme y ser El guía en cada fase de mi vida. A mi madre Eugenia Gonzales Juchatuma, mi hermano Faustino Araujo Gonzales y a todos mis hermanos (as), que con su amor y generosidad me han dado su apoyo incondicional, por creer siempre en mí, para poder lograr mi objetivo profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por brindarme la sabiduría, inteligencia y las ganas de seguir con mi vida profesional, a mi madre por brindarme su apoyo incondicional.

A mi asesor el Ing. Manuel Callo Conto por darme su tiempo y dedicación en cada momento para poder así culminar con éxito mi tesis.

## ÍNDICE

<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Definición del problema .....	1
1.3 Formulación del problema .....	2
1.4 Objetivos de la investigación .....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos .....	2
1.5 Hipótesis de la investigación .....	2
1.6 Variables e indicadores .....	3
1.6.1 Variable independiente .....	3
1.6.2 Variable dependiente .....	3
1.7 Viabilidad de la investigación.....	3
1.7.1 Viabilidad operativa.....	3
1.7.2 Viabilidad técnica .....	3
1.7.3 Viabilidad económica .....	3
1.8 Justificación e importancia de la investigación .....	4
1.8.1 Justificación .....	4
1.8.2 Importancia .....	4
1.9 Tipo y nivel de investigación.....	4
1.9.1 Tipo de investigación.....	4

1.9.2	Nivel de investigación.....	5
1.10	Método y diseño de la investigación.....	5
1.10.1	Método de la investigación.....	5
1.10.2	Diseño de la investigación .....	5
1.11	Técnicas e instrumentos de recolección de la información .....	5
1.11.1	Técnicas .....	5
1.11.2	Instrumentos.....	5
1.12	Cobertura de estudio .....	6
1.12.1	Universo.....	6
1.12.2	Muestra .....	6
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>		<b>7</b>
2.1	Energía solar .....	7
2.2	Energía solar en el mundo.....	7
2.3	Energía solar en el Perú .....	10
2.4	Energía solar en la ciudad de Arequipa .....	13
2.5	Radiación solar.....	19
2.5.1	Parámetros de la radiación solar .....	20
2.5.2	Tipos de radiación solar .....	20
2.6	Trayectoria del sol.....	21
2.7	Orientación y Ángulo de inclinación .....	22
2.8	Sistemas fotovoltaicos .....	23

2.8.1	Sistemas aislados .....	23
2.8.2	Sistemas conectados a la red.....	26
2.8.3	Sistemas híbridos .....	28
2.9	Componentes del sistema fotovoltaico .....	28
2.9.1	Módulos fotovoltaicos .....	28
2.9.2	Células fotoeléctricas o fotovoltaicas. ....	31
2.9.3	Célula solar .....	32
2.10	Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.....	36
2.11	Curvas IV .....	38
2.12	Unión de células.....	39
2.13	Mejoras en las células FV .....	40
2.14	Células medias .....	40
2.15	El texturizado .....	44
2.16	Bus-bars .....	45
2.17	Diodos bypass .....	46
2.18	Tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell).....	47
2.19	Módulos FV Bifaciales .....	48
2.20	Caja de conexiones .....	50
2.21	Cables de conexión .....	51
2.22	Grado de proteccion IP .....	52

2.23	Anomalías de un módulo FV .....	54
2.24	Parámetros de estandarización .....	56
2.25	Asociación de módulos FV .....	58
2.26	Elementos constituyentes .....	59
2.26.1	Baterías .....	59
2.26.2	Controladores .....	69
2.26.3	Inversores .....	72
<b>CAPÍTULO III: PLIEGO DE CONDICIONES.....</b>		<b>76</b>
<b>CAPITULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>		<b>78</b>
4.1	Localización del estudio .....	78
4.2	Inclinación óptima de los paneles .....	80
4.3	Cuadro de cargas con iluminación convencional.....	83
4.4	Dimensionamiento y cálculo de iluminación.....	84
4.5	Sistema fotovoltaico en la Plaza las Américas .....	88
4.6	Suministro de detalle de la plaza las Américas.....	90
4.7	Análisis lumínico de la Plaza las Américas .....	92
4.8	Dimensionamiento .....	98
4.9	Radiación solar promedio mensual .....	99
4.10	Selección del inversor .....	102
4.11	Selección del banco de baterías .....	106

4.12	Selección del campo fotovoltaico .....	112
4.13	Selección del controlador.....	116
4.14	Cálculo para selección de conductores. ....	121
<b>CAPITULO V: CÁLCULO DE ANALISIS ESTRUCTURAL .....</b>		<b>124</b>
5.1	Objetivo.....	124
5.2	Alcance .....	124
5.3	Normas y documentos de referencia.....	124
5.4	Propiedades del material .....	125
5.5	Cálculo de cargas mecánicas .....	125
5.6	Parámetros de calculo .....	126
5.7	Cálculo de cargas -soporte de paneles .....	128
5.8	Peso por acumulación de polvo. ....	130
5.9	Cargas de viento.....	131
5.10	Análisis sísmico .....	137
5.11	Resultados .....	144
5.12	Análisis de conexiones.....	147
5.13	Resultados .....	151
5.14	Analisis conexión de anclaje.....	154
<b>CAPÍTULO VI: ESTUDIO ECONÓMICO.....</b>		<b>158</b>

6.1	Inversión total del sistema fotovoltaico .....	158
6.2	Costo de mantenimiento del sistema fotovoltaico .....	159
6.3	Costo de mantenimiento del sistema convencional .....	160
6.4	Ahorro en el costo de mantenimiento .....	162
6.5	Ahorro económico anual.....	162
6.6	Análisis de la rentabilidad del proyecto.....	164
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>168</b>
<b>RECOMENDACIONES. ....</b>		<b>169</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>170</b>
<b>PLANOS .....</b>		<b>176</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> La Tendencia de la Capacidad Instalada de las ER en el Mundo.....	8
<b>Figura 2</b> Tendencia de la Generación de la Electricidad de las ER en el Mundo.....	9
<b>Figura 3</b> Escala de la Radiación Solar Según SENAMHI.....	11
<b>Figura 4</b> Índice de Radiación Ultravioleta Para el Medio Día Solar. ....	12
<b>Figura 5</b> Mapa de la Radiación Solar en Arequipa.....	14
<b>Figura 6</b> Índice de Radiación Ultravioleta en Arequipa .....	15
<b>Figura 7</b> Mapa PVOUT de la Plaza las Américas .....	18
<b>Figura 8</b> Mapa PVOUT de la Irradiación Normal Directa en la Plaza las Américas .....	19
<b>Figura 9</b> Tipos de Radiación Solar .....	21
<b>Figura 10</b> Trayectoria del sol a lo largo del día .....	21
<b>Figura 11</b> Trayectoria del sol a lo largo del año. ....	22
<b>Figura 12</b> Orientación y Ángulo de inclinación.....	22
<b>Figura 13</b> Sistema Aislado DC .....	25
<b>Figura 14</b> Sistema Aislado AC .....	25
<b>Figura 15</b> Sistema Aislado AC-DC .....	26
<b>Figura 16</b> Sistema Conectado a Red .....	27
<b>Figura 17</b> Sistema Híbrido.....	28
<b>Figura 18</b> Módulos Fotovoltaicos .....	29
<b>Figura 19</b> Composición de los módulos fotovoltaicos.....	30
<b>Figura 20</b> Efecto fotovoltaico .....	32
<b>Figura 21</b> Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica .....	33
<b>Figura 22</b> Célula FV Monocristalina .....	34

<b>Figura 23</b> Célula FV Policristalino .....	35
<b>Figura 24</b> Celda Solar Amorfa.....	36
<b>Figura 25</b> Curva IV característica de un módulo fotovoltaico.....	38
<b>Figura 26</b> Unión de Células Fotovoltaicas.....	39
<b>Figura 27</b> Arreglo de las células medias de un Módulo FV .....	40
<b>Figura 28</b> Funcionamiento de las células de un módulo FV.....	41
<b>Figura 29</b> Funcionamiento del diodo bypass en el módulo FV .....	42
<b>Figura 30</b> Diferencia entre un módulo FV tradicional y con células medias .....	43
<b>Figura 31</b> El texturizado en las células FV .....	45
<b>Figura 32</b> Bus-bars en las células FV .....	46
<b>Figura 33</b> Diodos Bypass.....	47
<b>Figura 34</b> Tecnología PERC .....	48
<b>Figura 35</b> Modulo Fotovoltaicos Bifaciales.....	49
<b>Figura 36</b> Distancia entre Módulos FV.....	50
<b>Figura 37</b> Caja de Conexiones.....	51
<b>Figura 38</b> Cable Fotovoltaico .....	52
<b>Figura 39</b> Terminales MC4.....	52
<b>Figura 40</b> Grado de protección de los Módulos FV.....	53
<b>Figura 41</b> Anomalías de los Módulos FV .....	54
<b>Figura 42</b> Microgrietas en los módulos FV .....	55
<b>Figura 43</b> Protección frente a las micro fisuras. ....	56
<b>Figura 44</b> Asociación en serie de los Módulos FV .....	58
<b>Figura 45</b> Asociación en paralelo de los Módulos FV.....	59

<b>Figura 46</b> Terminales de las baterías de placas tubulares OPzS y OPzV .....	63
<b>Figura 47</b> Carga de la batería de plomo .....	65
<b>Figura 48</b> Carga de la Batería de Litio.....	66
<b>Figura 49</b> Nros de ciclos vs el porcentaje de PD de la batería.....	68
<b>Figura 50</b> Ubicación de la Plaza las Américas. ....	78
<b>Figura 51</b> Vía de acceso a la Plaza las Américas.....	79
<b>Figura 52</b> Ubicación del proyecto del sistema fotovoltaico .....	80
<b>Figura 53</b> Radiación Solar en la ciudad de Arequipa para una inclinación de 15° .....	82
<b>Figura 54</b> Radiación Solar en la ciudad de Arequipa para una inclinación de 20° .....	83
<b>Figura 55</b> Plano de la plaza a iluminar .....	85
<b>Figura 56</b> Estado actual de postes de tres cabezas.....	86
<b>Figura 57</b> Estado actual de postes de dos cabezas .....	86
<b>Figura 58</b> Estado actual de farolas tipo colonial.....	87
<b>Figura 59</b> Estado actual de los reflectores .....	87
<b>Figura 60</b> Estado actual de luminarias esfericas .....	88
<b>Figura 61</b> Historial de recibos de los últimos 7 meses .....	90
<b>Figura 62</b> Historial de consumo de los últimos 7 meses.....	91
<b>Figura 63</b> Fotometría de la luminaria de 100W para el reflector.....	93
<b>Figura 64</b> Fotometría de la luminaria de 30W para postes de dos y tres cabezas .....	94
<b>Figura 65</b> Fotometría de la luminaria de 30W para postes de una cabeza.....	96
<b>Figura 66</b> Plano de situación de las luminarias.....	97
<b>Figura 67</b> Esquema general del sistema fotovoltaicos.....	101
<b>Figura 68</b> Ficha Técnica del inversor modelo PV18-5248 PRO .....	103

<b>Figura 69</b> Ficha técnica del Inversor/cargador Multiplus 48/5000/70.....	105
<b>Figura 70</b> Batería litio modelo sp10000u-10kwh Sunpal .....	107
<b>Figura 71</b> Bateria litio pylontech modelo US2000C 48V.....	109
<b>Figura 72</b> Modulo fotovoltaico 540W Mono Half Modelo MSD540P .....	114
<b>Figura 73</b> Modulo fotovoltaico Eco Green 450W 24V Mono Perc.....	115
<b>Figura 74</b> Controlador MPPT Modelo PV18-5248 PRO .....	117
<b>Figura 75</b> Controlador MPPT Modelo PC1800A Series (60A/80A).....	118
<b>Figura 76</b> Controlador MPPT Modelo 150/100.....	120
<b>Figura 77</b> Propiedades del material ASTM A36 .....	125
<b>Figura 78</b> Combinaciones LRFD-E090 .....	125
<b>Figura 79</b> Configuración general-soporte para paneles. ....	126
<b>Figura 80</b> Dimensiones generales de pórtico a un agua.....	127
<b>Figura 81</b> Modelado 3D-SAP2000. ....	128
<b>Figura 82</b> Propiedades del panel solar Modelo MSD540M-144 .....	129
<b>Figura 83</b> Distribución de los 16 paneles.....	129
<b>Figura 84</b> Aplicación de peso de paneles en correas(6.253kgf/m).....	130
<b>Figura 85</b> Carga por unidad de área-acumulación de polvo(5kgf/m <sup>2</sup> ).....	130
<b>Figura 86</b> Mapa eólico del Perú.....	131
<b>Figura 87</b> Presión del viento cargada en las columnas-28.9kgf/m <sup>2</sup> .....	134
<b>Figura 88</b> Succión 21.7kgf/m <sup>2</sup> . ....	134
<b>Figura 89</b> Succión lateral-columnas(25.3kgf/m <sup>2</sup> ).....	135
<b>Figura 90</b> Succión superior 25.3kgf/m <sup>2</sup> .....	136
<b>Figura 91</b> Mapa de zonas sísmicas .....	137

<b>Figura 92</b> Factor de uso-E030.....	138
<b>Figura 93</b> Factor de suelo E030. ....	139
<b>Figura 94</b> Periodos $T_p$ y $T_l$ .....	139
<b>Figura 95</b> Periodo fundamental 0.31854s.....	140
<b>Figura 96</b> Factor de reducción R.....	141
<b>Figura 97</b> Masa sísmica de la estructura. ....	142
<b>Figura 98</b> Factor ZUSC/R-sismo X.....	143
<b>Figura 99</b> Factor ZUSC/R-sismo Y. ....	143
<b>Figura 100</b> Ratios D/C máx. 0.173. ....	144
<b>Figura 101</b> Máx. deformación x-2.12mm.....	145
<b>Figura 102</b> Máx. deformación Y-0.089mm. ....	145
<b>Figura 103</b> Máx. deformación -Z: 4.2mm. ....	146
<b>Figura 104</b> Análisis-COMB.1.2D+0.5L-1.3Vx.....	147
<b>Figura 105</b> Configuración anclaje típico. ....	148
<b>Figura 106</b> Conexión viga-columna.....	148
<b>Figura 107</b> Mayores valores COMB 1.2D+0.5L-1.3V-x.....	149
<b>Figura 108</b> Cargas asignadas al programa Idea Statica.....	150
<b>Figura 109</b> Modelado Idea Statica. ....	150
<b>Figura 110</b> Distribución de esfuerzos en conexión.....	151
<b>Figura 111</b> Modelado anclajes-Idea Statica.....	155
<b>Figura 112</b> Cargas asignadas al programa Idea Statica-Student Version.....	155
<b>Figura 113</b> Distribución de esfuerzos en anclaje.....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Siglas y glosario del software Atlas Global Solar .....	16
<b>Tabla 2</b> Información del mapa PVOUT por día.....	17
<b>Tabla 3</b> Información del mapa PVOUT por año.....	17
<b>Tabla 4</b> Cuadro de cargas con iluminación convencional de la plaza las Américas.....	83
<b>Tabla 5</b> Datos de la luminaria de 100W para el reflector .....	92
<b>Tabla 6</b> Datos de la luminaria de 30W para postes de dos y tres cabezas .....	94
<b>Tabla 7</b> Datos de la luminaria de 30W para postes de una cabeza .....	95
<b>Tabla 8</b> Resultados del estudio lumínico .....	98
<b>Tabla 9</b> Cuadro de detalles de consumo de las luminarias .....	100
<b>Tabla 10</b> Rango de potencias para cada tensión nominal .....	102
<b>Tabla 11</b> Selección del inversor modelo PV18-5248 PRO.....	103
<b>Tabla 12</b> Selección del Inversor/cargador multiphas 48/5000/70 .....	104
<b>Tabla 13</b> Fuerza cortante total en la base de la estructura .....	141
<b>Tabla 14</b> Acero ASTM A36 Propiedades .....	153
<b>Tabla 15</b> Análisis de conexión de anclaje.....	154
<b>Tabla 16</b> Inversion total del sistema fotovoltaico .....	158
<b>Tabla 17</b> Mano de Obra del sistema fotovoltaico .....	159
<b>Tabla 18</b> Costo de mantenimiento del sistema fotovoltaico .....	160
<b>Tabla 19</b> Costo de mantenimiento del sistema convencional .....	161
<b>Tabla 20</b> Costo de la energia anual del SF.....	163
<b>Tabla 21</b> Costo de la energia anual convencional.....	163
<b>Tabla 22</b> Ahorro energetico anual.....	164

<b>Tabla 23</b> Analisis del flujo de efectivo .....	165
<b>Tabla 24</b> Calculo del VAN y TIR .....	167

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación nos da a conocer una alternativa para poder implementar un diseño de un sistema de iluminación mediante paneles solares fotovoltaicos para la Plaza las Américas en el distrito de Cerro Colorado- Arequipa con tecnología LED. Este tipo de iluminación disminuye el impacto ambiental de los gases de efecto invernadero causado por el alumbrado público convencional. En el presente trabajo se puede apreciar un análisis teórico, aprovechando el auge de las energías renovables, revisando también las fuentes bibliográficas que determinan las características, usos y ventajas de la iluminación con tecnología LED a comparación de otros tipos de luminarias convencionales. Se muestra en el trabajo la caracterización del recurso solar en el lugar de estudio para diferentes ángulos de inclinación con datos obtenidos del software PVWatts, lo cual para poder obtener los mejores resultados se recomienda trabajar con la mínima radiación solar que es  $5,51 \text{ kWh/m}^2$ . Para poder determinar y calcular los niveles de iluminación para la plaza las Américas, primero se realizó el estudio lumínico mediante el software DIALux para luego realizar el dimensionamiento de cada uno de los componentes con 16 módulos fotovoltaicos de 540W, un inversor/cargador de 5200W, un controlador de 80A, un banco de baterías Litio de 3 unidades de 200Ah y el diseño de la estructura del pórtico para la instalación de los módulos fotovoltaicos. Como conclusión se tiene un estudio Técnico – Económico con una inversión de S/.100 810.59, el retorno de la inversión es de 08 años para una tasa de inversión del 7%, considerando un tiempo de vida del proyecto de 20 años.

**Palabras claves:** Sistema Fotovoltaico (FV), Horas Sol Pico (HSP), Temperatura de Operación Nominal de la Célula (TONC), Ángulo de Inclinación, Acero ASTM A36, Perno A325, Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

## ABSTRACT

This research work shows us an alternative to be able to implement a design of a lighting system using photovoltaic solar panels for Plaza las Americas in the district of Cerro Colorado-Arequipa with LED technology. This type of lighting reduces the environmental impact of greenhouse gases caused by conventional public lighting. In the present work a theoretical analysis can be appreciated, taking advantage of the rise of renewable energies, also reviewing the bibliographic sources that determine the characteristics, uses and advantages of lighting with LED technology compared to other types of conventional luminaires. The characterization of the solar resource in the study place for different inclination angles is shown in the work with data obtained from the PVWatts software, which in order to obtain the best results it is recommended to work with the minimum solar radiation that is 5.51 kWh/ m<sup>2</sup>. In order to determine and calculate the lighting levels for Plaza Las Américas, first the lighting study was carried out using the DIALux software to then carry out the sizing of each of the components with 16 540W photovoltaic modules, a 5200W inverter/charger, an 80A controller, a Lithium battery bank with 3 units of 200Ah and the design of the gantry structure for the installation of the photovoltaic modules. As a conclusion, there is a Technical - Economic study with an investment of S/.100 810.59, the return on investment is 08 years for an investment rate of 7%, considering a project life time of 20 years.

**Keywords:** Photovoltaic System (FV), Peak Sun Hours (HSP), Nominal Cell Operating Temperature (TONC), Tilt Angle, ASTM A36 Steel, A325 Bolt, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Investment Recovery Period (PRI)

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

El incremento de la población en la ciudad de Arequipa y la utilización de las nuevas formas de tecnología en los distintos puntos de la ciudad han provocado un aumento de la demanda de la energía eléctrica, conllevando a mayores formas de uso de la energía eléctrica para poder satisfacer las necesidades de los consumidores. Las fuentes de la energía no renovable conllevan a acelerar el cambio climático y a la vez impactar en la economía de la población.

Actualmente se observa en el recibo de la Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. (SEAL) un monto elevado que paga mensualmente la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado por la iluminación de la plaza las Américas; y frente a ello se plantea la necesidad de la implementación de una nueva forma de iluminación ecológica aprovechando la energía renovable del sol, su iluminación mostrando un lugar más ecológico y a la vez ahorrar en el monto del recibo mensual que paga la Municipalidad Distrital de Cerro Colorado.

En vista a esta problemática del uso de la energía convencional y la producción de los gases de efecto invernadero se propone instaurar una iluminación ecológica mediante paneles solares fotovoltaicos para lograr suministrar de energía eléctrica en dicho lugar.

### **1.2 Definición del problema**

Hoy en día la energía luminosa es una parte muy importante para la humanidad ya que en la ciudad de Arequipa donde vivimos la gran parte de la población utiliza la forma de la energía convencional y ello conlleva al aumento del impacto ambiental.

La Municipalidad Distrital de Cerro Colorado mensualmente paga hacia la empresa Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. (SEAL) un monto elevado por la iluminación general de la Plaza las Américas.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Aprovechando la energía de la radiación solar mediante paneles solares fotovoltaicos será posible suministrar de energía eléctrica a la Plaza las Américas en el distrito de Cerro Colorado-Arequipa y ahorrando en el recibo mensual que actualmente se paga por ello?

### **1.4 Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Estudio para la implementación de iluminación artificial mediante paneles solares fotovoltaicos para la Plaza las Américas en el distrito de Cerro Colorado-Arequipa.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Calcular la potencia eléctrica requerida y también el número de horas de funcionamiento en el sistema de alumbrado de la Plaza Las Américas.
- Evaluar la radiación solar promedio del lugar.
- Realizar un estudio lumínico en la Plaza Las Américas
- Selección de los elementos del sistema fotovoltaico
- Describir cada componente del sistema fotovoltaico.
- Dimensionar mediante el estudio y cálculos, un sistema aislado con respaldo energético de generación de energía fotovoltaica para el suministro de la red eléctrica de alumbrado en la plaza las Américas
- Realizar el presupuesto del sistema solar fotovoltaico.
- Realizar los planos de diseño y fabricación de la estructura de soporte (Pórtico).

### **1.5 Hipótesis de la investigación**

Con la instauración de un sistema de energía no convencional con paneles solares fotovoltaicos instalado en la Plaza las Américas del distrito de Cerro Colorado provincia de

Arequipa, se proyecta disminuir el uso de la energía eléctrica convencional, dando como resultado un ahorro económico en el recibo mensual para la Municipalidad de dicho distrito.

## **1.6 Variables e indicadores**

### **1.6.1 Variable independiente**

- Radiación solar
- Irradiación solar

### **1.6.2 Variable dependiente**

- Potencia de la energía eléctrica del sistema fotovoltaico
- Modulo fotovoltaico, inversor, controlador, baterías y kit de conexiones.
- Estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos.

## **1.7 Viabilidad de la investigación**

### **1.7.1 Viabilidad operativa**

El presente proyecto de investigación tiene una viabilidad operativa mediante el sistema de los módulos FV, los reguladores de carga, el inversor conectado a red, el banco de baterías, la caja de conexiones y protecciones regularan la iluminación a la plaza las Américas en el Distrito de Cerro Colorado.

### **1.7.2 Viabilidad técnica**

Con el presente estudio se propone la implementación mediante el sistema de paneles solares fotovoltaicos para la iluminación de la Plaza las Américas, distrito de Cerro Colorado, siendo así viable el conocimiento de funcionamiento del sistema fotovoltaico para dicho lugar.

### **1.7.3 Viabilidad económica**

Con el presente estudio de la implementación con el sistema de paneles solares fotovoltaicos se analiza la rentabilidad para recuperar la inversión inicial.

## **1.8 Justificación e importancia de la investigación**

### ***1.8.1 Justificación***

Con la instauración de un sistema fotovoltaico se podrá reducir daños al medio ambiente ya que este tipo de energía no proviene de recursos fósiles. Promueve el uso de las energías no convencionales.

Con el presente proyecto se busca argumentar que la implementación de generación de la energía eléctrica mediante la energía renovable como es la fuente fotovoltaica es confiable para el medio ambiente y se puede aprovechar de buena manera en la región de Arequipa. El avance de la tecnología de las energías renovables permite que se tenga mayor demanda en diversas ciudades desarrolladas y de tal manera los costos de instalación puedan disminuir.

### ***1.8.2 Importancia***

La importancia de nuestro objeto de estudio se contempla en el empleo de la energía renovable en específico la energía solar fotovoltaica para la iluminación de la Plaza las Américas; la aprobación de la población en dicho lugar es elocuente. La emisión de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de esta forma de energía es exiguo casi infame en comparación a los convencionales.

## **1.9 Tipo y nivel de investigación**

### ***1.9.1 Tipo de investigación***

Según su propósito es aplicada ya que busca transformar el conocimiento utópico en práctico. Para la población de la ciudad de Arequipa será favorable el uso de esta forma de energía y solucionará los diversos problemas en el lugar de estudio.

### ***1.9.2 Nivel de investigación***

El nivel de investigación es descriptivo, lo cual según (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014) , precisa como un método de investigación que lo que hace es describir las características de la población en el lugar de estudio. Este tipo de metodología de basa más en el “que” del sujeto de investigación en lugar del “porque”. Mediante este nivel de investigación se describe todos los parámetros relacionados a la tecnología del sistema fotovoltaico.

## **1.10 Método y diseño de la investigación**

### ***1.10.1 Método de la investigación***

Método deductivo: por medio de la cuantificación de los parámetros del estudio del sistema fotovoltaico será posible solucionar diversos problemas como el tema económico y la contaminación ambiental con la energía convencional.

### ***1.10.2 Diseño de la investigación***

Diseño cuantitativo: debido a que se tomara los datos de las variables dependientes e independientes para su estudio y posterior a ello el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, así como el tema económico.

## **1.11 Técnicas e instrumentos de recolección de la información**

### ***1.11.1 Técnicas***

Se elaborará un cuadro de cargas del estado actual del consumo energético en la iluminación de la Plaza las Américas, la incidencia solar en dicho lugar para su estudio y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

### ***1.11.2 Instrumentos***

- Software Autodesk Inventor
- Software Microsoft Excel

- Software Global Atlas Solar
- Software PVWatts
- SAP 2000

## **1.12 Cobertura de estudio**

### ***1.12.1 Universo***

Radiación solar en la Plaza las Américas del distrito de Cerro Colorado-Arequipa.

### ***1.12.2 Muestra***

Sistema de paneles solares fotovoltaicos para la iluminación de la Plaza las Américas en el distrito de Cerro Colorado-Arequipa.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Energía solar

La energía solar es toda forma de energía utilizable por el ser humano que proviene directamente del sol. Esta energía renovable es conseguida de la radiación electromagnética del sol que es una fuente natural.

La energía solar es el origen de la gran mayoría de formas de energías conocidas, es el origen de la vida. Todos los años la radiación solar que incide sobre la tierra aporta la energía equivalente al consumo de millones de personas en diferentes lugares. De esta forma esta radiación solar es captada mediante los módulos FV para poder transformar en otras formas de energía. (Osinergmin, 2020)

Tenemos 2 tipos principales de energía solar, primero la energía solar concentrada que puede transformarse en energía térmica donde se usa el incremento de la temperatura ocasionado al concentrar la radiación solar para poder vaporizar agua y así poder mover una turbina para posterior producir la energía eléctrica. Segundo es la energía solar fotovoltaica ya que con el empleo de paneles solares fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Este tipo de energía solar es más utilizada y tiene un mayor crecimiento en la sociedad.

### 2.2 Energía solar en el mundo

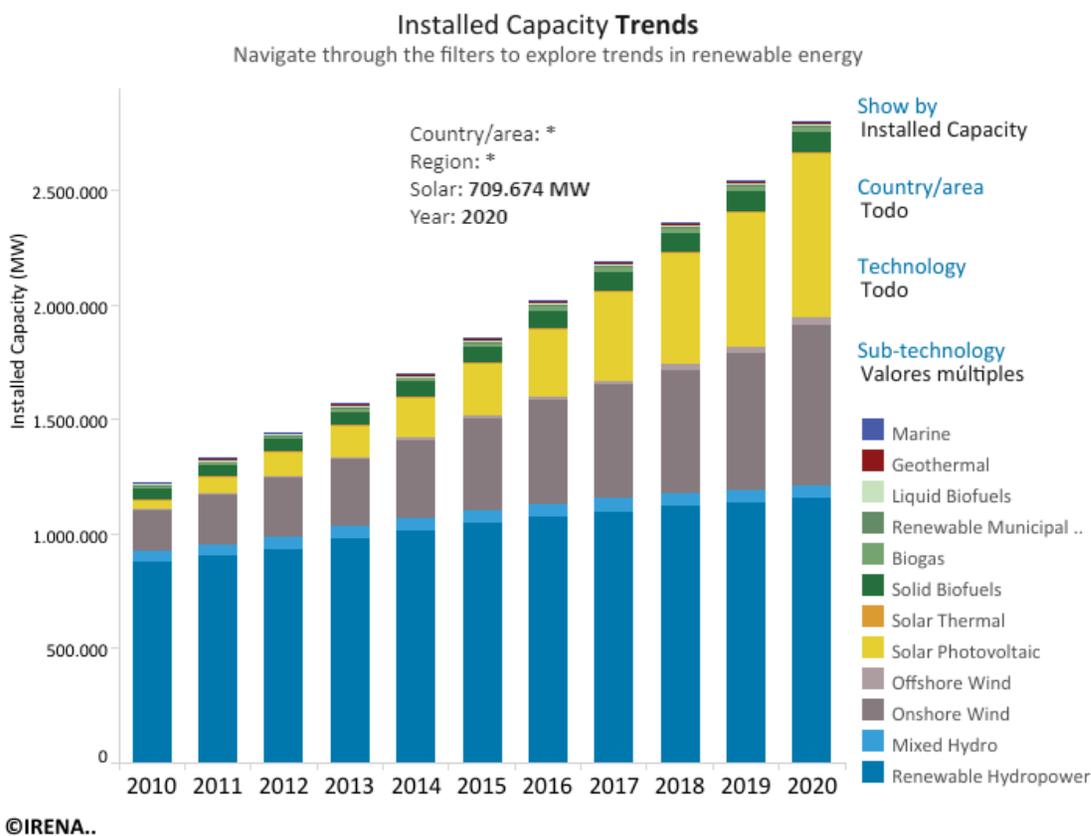
La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) es una corporación intergubernamental que avala actualmente a los 167 países en su cambio a un futuro de la energía sostenible y actúa como un importante centro internacional, centro de experiencia y almacenamiento de energía renovable, tecnología, materiales y cuestiones financieras. IRENA promueve la difusión y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable, incluidas la bioenergía, la energía geotérmica, la energía hidroeléctrica, la energía oceánica, la energía solar y

la energía eólica, promoviendo el desarrollo, el acceso a la energía, la conservación de la energía y el crecimiento y desarrollo económico con bajas emisiones de carbono. (IRENA, 2021)

En las siguientes figuras 1 y 2 podemos ver la tendencia de la capacidad instalada y la tendencia de la generación de la electricidad a nivel mundial de las diferentes formas de producción energética.

**Figura 1**

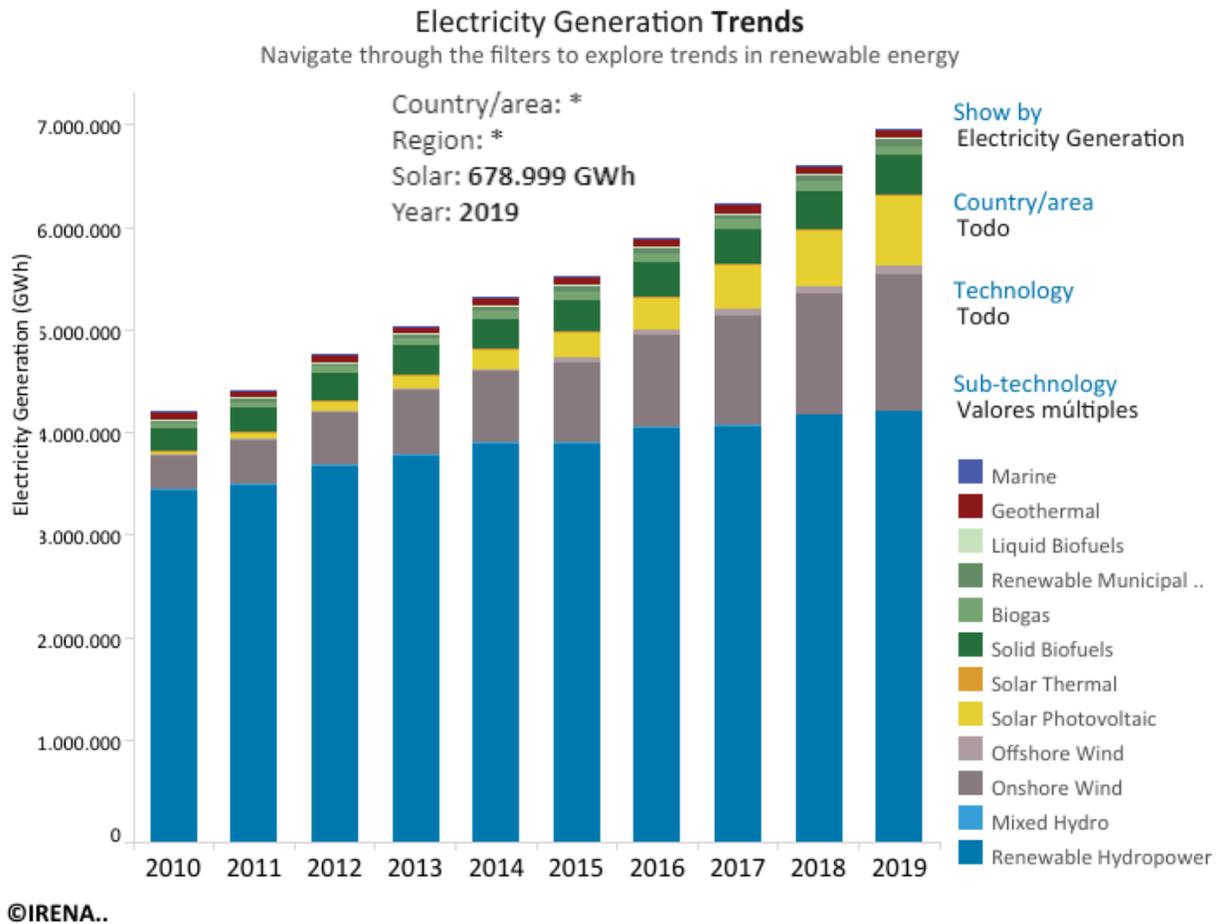
*La Tendencia de la Capacidad Instalada de las ER en el Mundo*



Nota. Fuente: (IRENA, 2020)

**Figura 2**

*Tendencia de la Generación de la Electricidad de las ER en el Mundo*



Nota. Fuente: (IRENA, 2019)

Como podemos ver en las Figuras 1 y 2, la energía solar ocupa el tercer lugar en términos de potencia instalada, que ya es una alta tecnología que brinda más seguridad financiera.

Una de las ventajas del uso de este tipo de energía fotovoltaica es su instalación, mantenimiento y muchas personas o empresas pueden instalarlo en una azotea. En caso que la instalación sea pequeña puede trasladarse de un lugar a otro sin inconvenientes teniendo los criterios de instalación.

La disponibilidad del uso de esta forma de energía tiene mayor demanda en países donde la radiación solar es considerable, países que cuenta con mayor población y su crecimiento económico en los próximos años. Es eventual que los países tengan un crecimiento de 7 mil habitantes para el año 2050 frente a los 2 mil millones en lugares fríos y templados. (Juarez Rivera , 2018)

### **2.3 Energía solar en el Perú**

Nuestro país cuenta en promedio de mayor recurso solar en el mundo debido a que estamos próximos a la línea ecuatorial, ya que contamos con más horas de sol a lo largo del día a comparación con los países europeos. Nuestro país cuenta actualmente con muchas empresas que realizan la venta e instalación de sistemas fotovoltaicos. Todo el territorio peruano tiene una disponibilidad de energía solar uniforme a lo largo del año y ello es imprescindible su aprovechamiento. De acuerdo a los estudios del Banco Mundial los departamentos como Arequipa, Moquegua y Tacna disponen de mayor índice de radiación solar para el desarrollo de la tecnología solar y térmica.(ExpoSolarPerú, 2021)

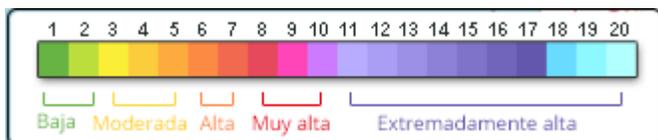
El Ministerio de Energía y Minas elaboró el Atlas de la Energía Solar del Perú y en ello señala que nuestro país cuenta con una radiación solar de 5.5 a 6.5 kWh/m<sup>2</sup> en la sierra; 5.0 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup> en la Costa y 4.5 a 5.0 kWh/m<sup>2</sup> en la selva. Estas cifras nos dan a entender que nuestro país tiene un elevado potencial fotovoltaico de los cual debemos de aprovecharlo nosotros en diferentes formas de energía. El gobierno peruano promovió el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) 2016-2025 para la poder potenciar el uso de la energía del sol y dotar a las diferentes zonas rurales de nuestro país. El objetivo del Plan Nacional de Electrificación Rural es promover la energía la energía eficiente y sostenible a miles de peruanos que no disponen de electricidad aprovechado así este recurso solar. (ExpoSolarPerú, 2021)

De acuerdo al Atlas de Radiación Solar que fue publicado por SENAMHI el 2003, afirma que la región con mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra en la costa donde se tiene los índices entre 6,0 a 6,5 KW h/m<sup>2</sup> (SENAMHI, 2003)

La escala de radiación solar podemos apreciar en la siguiente figura 3.

**Figura 3**

*Escala de la Radiación Solar Según SENAMHI*

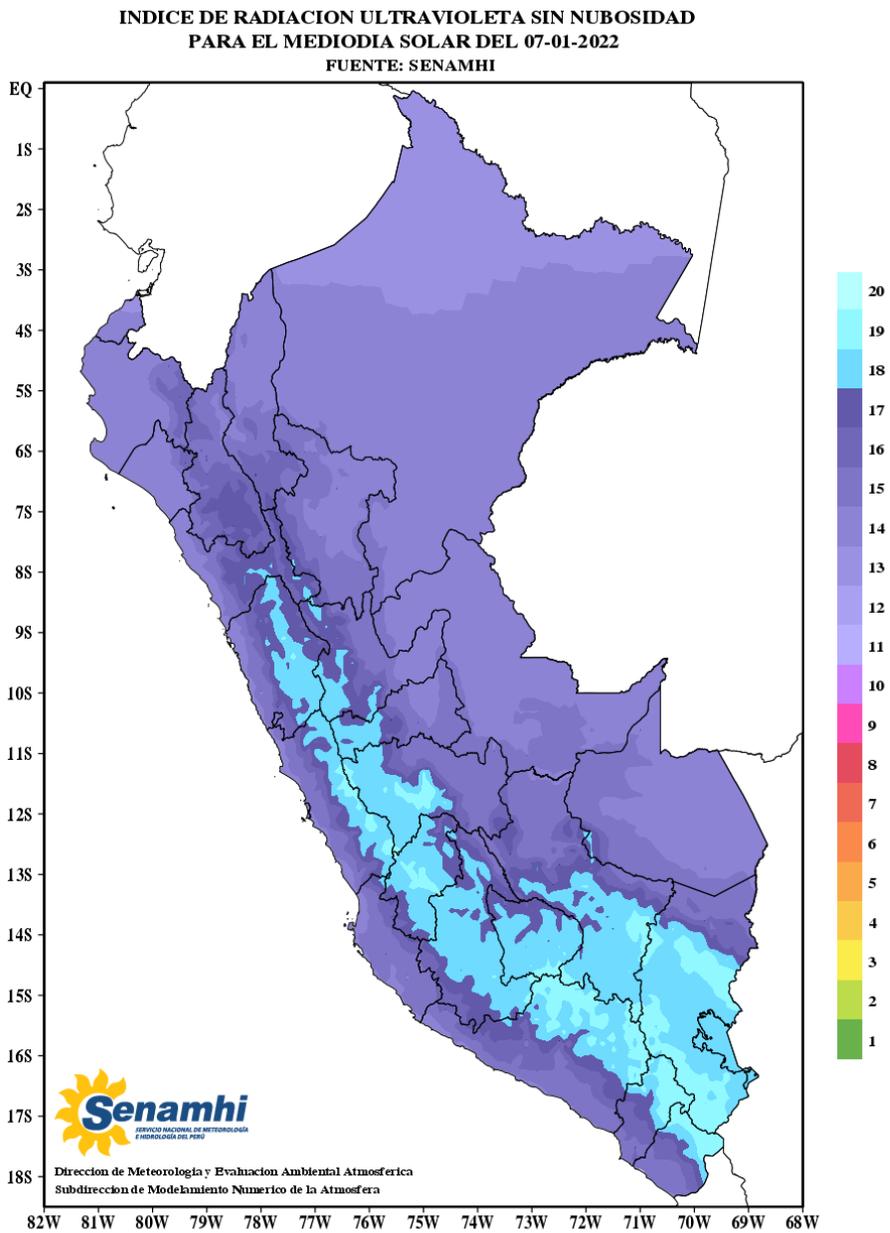


Nota. Fuente: (SENAMHI, 2022)

En la siguiente figura 4 se puede observar el índice de radiación solar ultravioleta para el medio día solar en nuestro país.

**Figura 4**

*Índice de Radiación Ultravioleta Para el Medio Día Solar.*



**VALOR POTENCIAL DEL INDICE DE RADIACION ULTRAVIOLETA MAXIMO DIARIO, EL CUAL NO CONSIDERA EL EFECTO DE ATENUACION POR NUBES Y CONTAMINACION ATMOSFERICA**

*Nota.* Fuente: (SENAMHI, 2022)

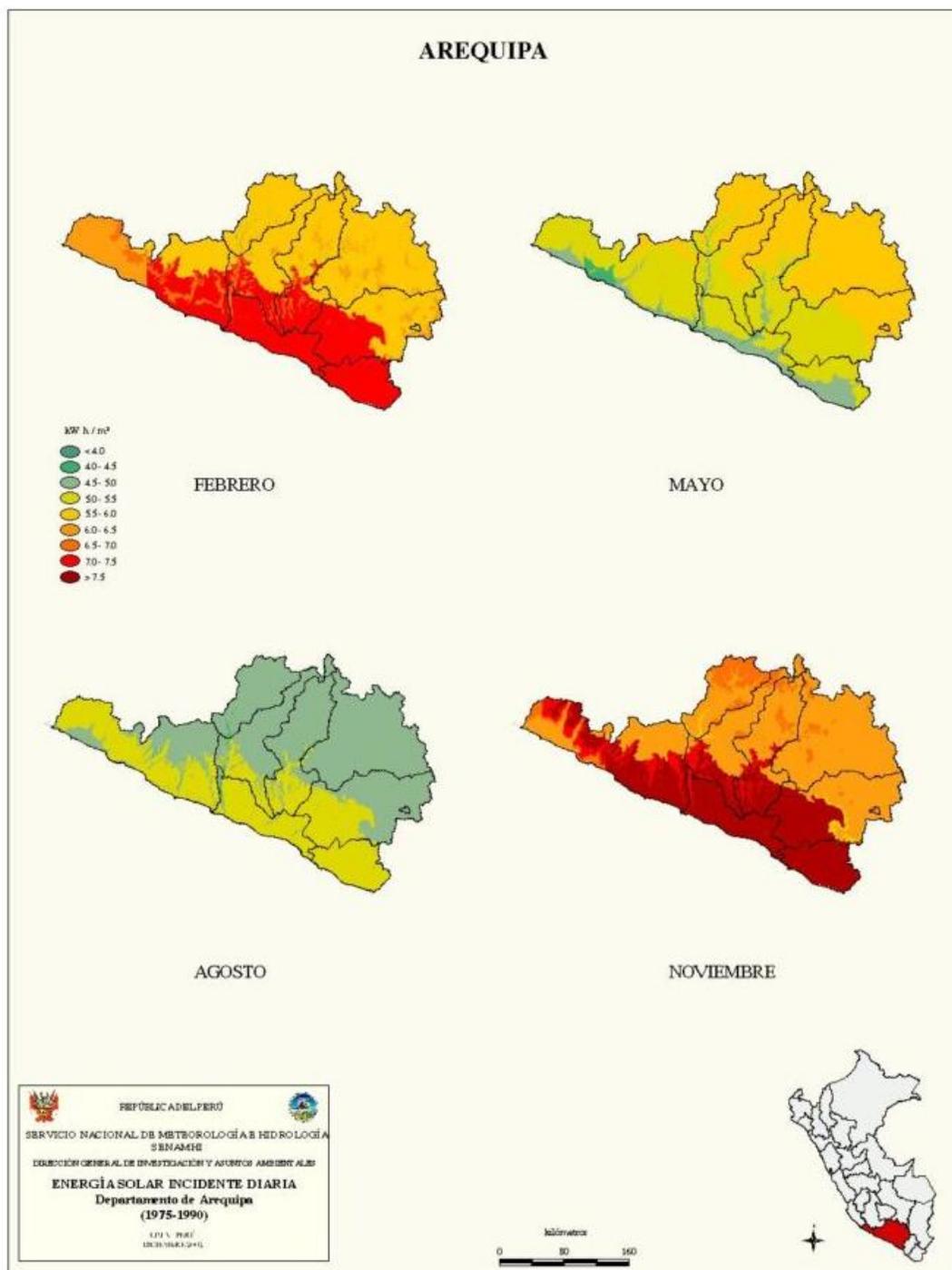
## **2.4 Energía solar en la ciudad de Arequipa**

Nuestra localidad cuenta con mayor recurso solar fotovoltaica ya que tenemos aproximadamente más de 300 días soleado durante el año. De acuerdo a las estaciones del año nuestra localidad tiene no menos de 10 horas de luz durante el día.

Nuestra ciudad se ubica en el sur del país y es una gran ventaja para nosotros ya que, según el Atlas de Energía Solar del Perú, la radiación solar promedio anual es de  $6.08 \text{ KWh/m}^2$ .

**Figura 5**

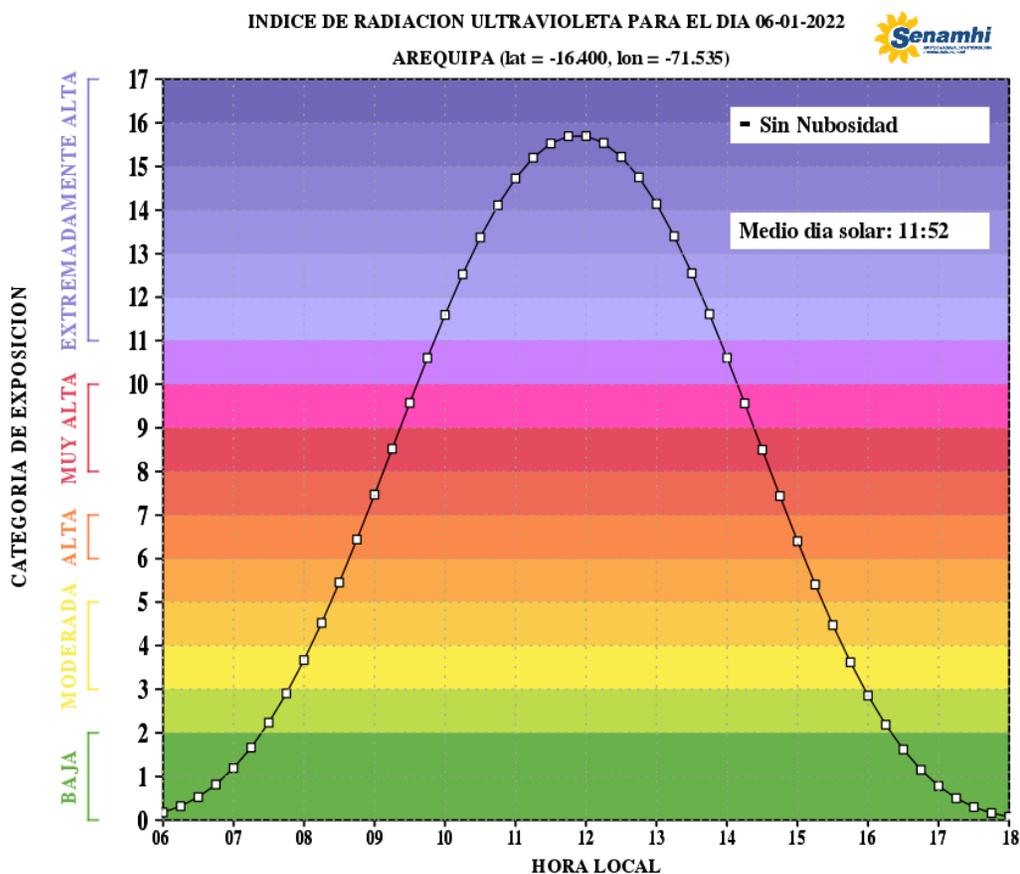
*Mapa de la Radiación Solar en Arequipa.*



*Nota. Fuente: (SENAMHI, 2003)*

**Figura 6**

*Índice de Radiación Ultravioleta en Arequipa*



Nota. Fuente: (SENAMHI, 2022)

Como podemos observar en las imágenes de nuestra localidad de Arequipa, existe una nueva forma de inversión en el campo fotovoltaico ya que su aprovechamiento de este tipo de energía solar será más eficiente, económica y rentable.

La tabla 1 muestra las siglas y glosario del software Atlas Global Solar para la evaluación preliminar de la irradiancia solar en el distrito de Cerro Colorado en la ciudad de Arequipa

**Tabla 1***Siglas y glosario del software Atlas Global Solar*

<b>SIGLAS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>TIPO DE USO</b>
<b>DIF</b>	Irradiación horizontal difusa	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Promedio anual, mensual o diaria.
<b>DNI</b>	Irradiación normal directa	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Promedio anual, mensual o diaria.
<b>ELE</b>	Elevación del terreno	m, ft	Elevación de la superficie del terreno por encima o por debajo del nivel del mar
<b>GHI</b>	Irradiación horizontal global	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Promedio anual, mensual o diaria.
<b>GTI</b>	Irradiación global inclinada	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Promedio anual, mensual o diaria.
<b>GTI opta</b>	Irradiación global inclinada en ángulo óptimo	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Promedio anual, mensual o diaria para módulos FV montados de forma fija en un ángulo óptimo.
<b>OPTA</b>	Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	°	Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos de montaje fijo orientados hacia el Ecuador configurada para maximizar la entrada GTI.
<b>PVOUT _specific</b>	Salida de potencia fotovoltaica específica	kWh/kWp	Valores medios anuales y mensuales de la electricidad fotovoltaica (CA) suministrada por un sistema fotovoltaico y normalizados a 1 kWp de capacidad instalada kWp: pico de Kilovatios
<b>PVOUT _total</b>	Salida de potencia fotovoltaica total	kWh, MWh, GWh	Valores medios anuales y mensuales de la electricidad fotovoltaica (CA) entregada por la capacidad instalada total de un sistema fotovoltaico.
<b>TEMP</b>	Temperatura del aire	°C, °F	Temperatura del aire promedio anual, mensual y diaria a 2 m sobre el suelo.

*Nota.* Fuente: (SolarGis, 2019)

**Tabla 2***Información del mapa PVOUT por día*

<b>MAP DATA</b>		<b>PER DAY</b>	<b>UNIT</b>
Specific photovoltaic power output	PVOUT_specific	5.554	kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	7.571	kWh/m <sup>2</sup>
Global horizontal irradiation	GHI	6.799	kWh/m <sup>2</sup>
Diffuse horizontal irradiation	DIF	1.675	kWh/m <sup>2</sup>
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI_opta	7.158	kWh/m <sup>2</sup>
Air temperature	TEMP	17.5	°C
Optimum tilt of PV modules	OPTA	20	°
Terrain elevation	ELE	2412	m

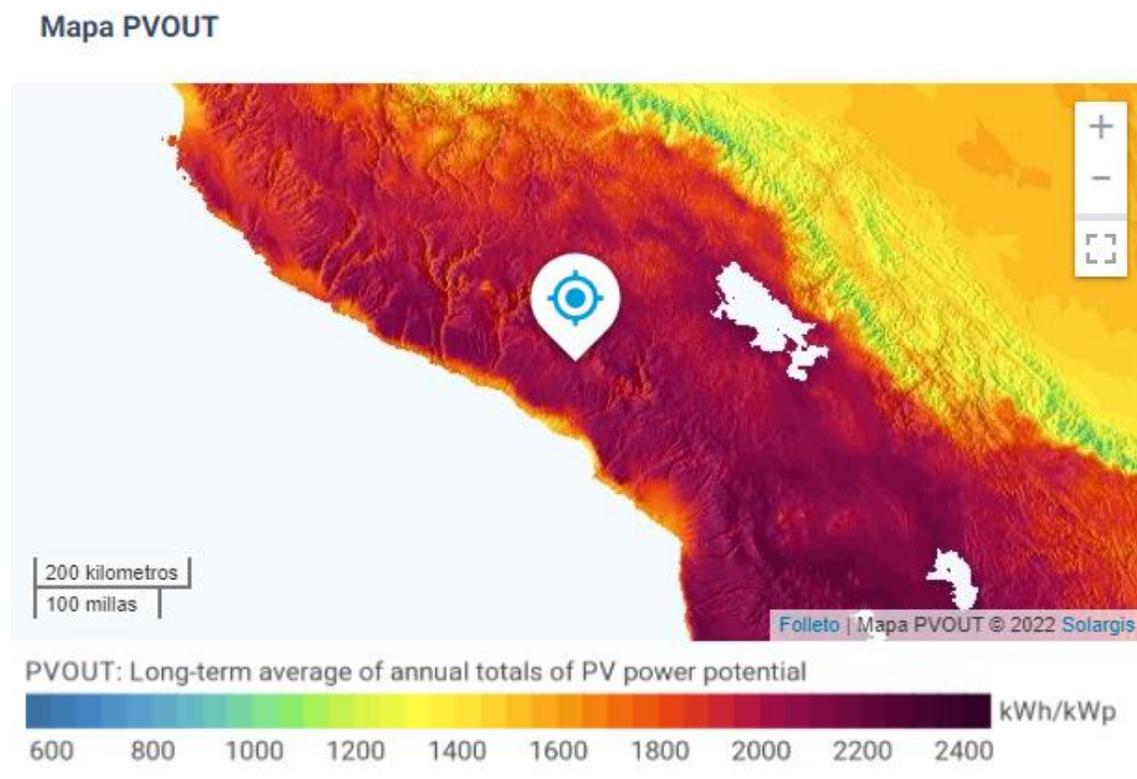
*Nota. Fuente: (SolarGis, 2019)***Tabla 3***Información del mapa PVOUT por año*

<b>MAP DATA</b>		<b>PER YEAR</b>	<b>UNIT</b>
Specific photovoltaic power output	PVOUT_specific	2027.3	kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	2763.4	kWh/m <sup>2</sup>
Global horizontal irradiation	GHI	2481.7	kWh/m <sup>2</sup>
Diffuse horizontal irradiation	DIF	611.4	kWh/m <sup>2</sup>
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI_opta	2612.6	kWh/m <sup>2</sup>
Air temperature	TEMP	17.5	°C
Optimum tilt of PV modules	OPTA	20	°
Terrain elevation	ELE	2412	m

*Nota. Fuente: (SolarGis, 2019)*

### Figura 7

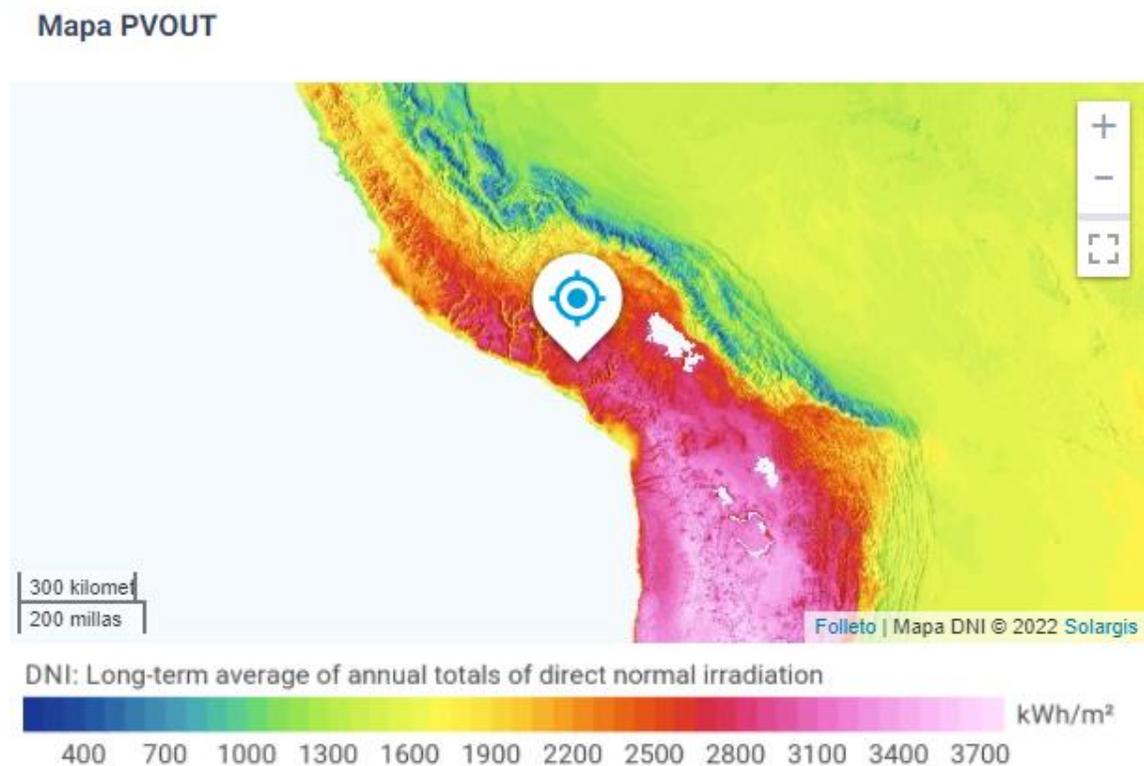
*Mapa PVOOUT de la Plaza las Américas*



*Nota. Fuente: (SolarGis, 2019)*

## Figura 8

*Mapa PVOUT de la Irradiación Normal Directa en la Plaza las Américas*



*Nota.* Fuente: (SolarGis, 2019)

### 2.5 Radiación solar

Según (Atlas de Energía Solar del Perú, 2003), es la energía electromagnética (del sol) emitida, transferida o recibida.

De acuerdo a la ley de Planck el sol se comporta como un cuerpo negro que emite energía a una temperatura de 6000K. La distribución de la radiación solar es desde infrarrojo hasta ultravioleta. Cuando la radiación incide sobre la superficie de la tierra las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera especialmente por el ozono.

### **2.5.1 Parámetros de la radiación solar**

De la radiación solar se puede ver varios parámetros que tendrán una gran importancia para poder entender la energía fotovoltaica.

**Irradiación solar:** Según (Atlas de Energía Solar del Perú, 2003), lo define como una potencia solar que incide en una determinada superficie por unidad de área. Su unidad es  $W/m^2$  o  $Wh/m^2$ .

### **2.5.2 Tipos de radiación solar**

Según el proyecto fotovoltaico presentada por (Grijalva Campoverde & Velez Mosquera, 2020) se distinguen tres componentes de irradiación solar de acuerdo a su incidencia sobre la superficie de la tierra.

**Radiación directa:** también llamada radiación de haz o radiación de haz directo, incide de forma vertical sobre la superficie de la tierra. Este tipo de radiación tiene una dirección definida y viajan en una misma dirección la desventaja es que un objeto puede bloquearlos todos a la vez. Entonces se puede entender cómo es que se producen las sombras, se producen porque la radiación directa está bloqueada.

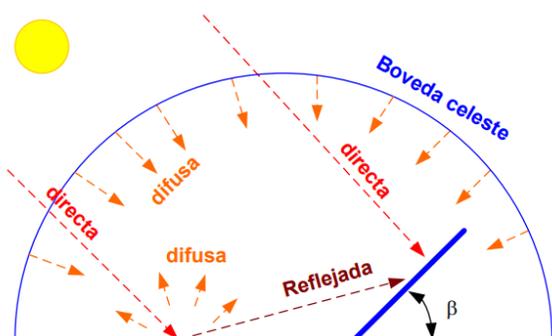
**Radiación difusa:** este tipo de radiación se produce porque ha sido dispersada por moléculas y partículas en la atmósfera y que ha llegado a la superficie de la tierra.

**Radiación de albedo:** esta radiación se produce por la reflexión de cualquier cuerpo con respecto a la radiación incidente.

**Radiación global:** es la suma de la radiación directa más la radiación difusa.

## Figura 9

### *Tipos de Radiación Solar*



Nota. Fuente: (Gomez, 2022)

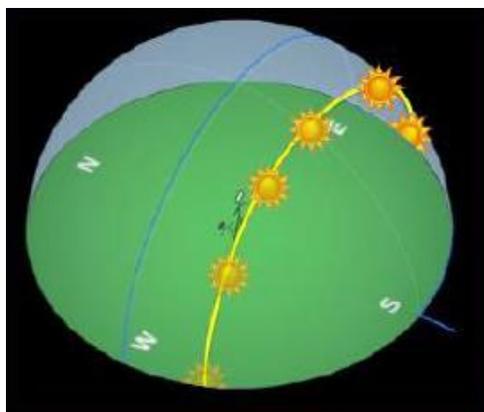
## 2.6 Trayectoria del sol

### A lo largo del día

El sol empieza a salir del Este y sigue su trayectoria hasta terminar en el oeste.

## Figura 10

### *Trayectoria del sol a lo largo del día*



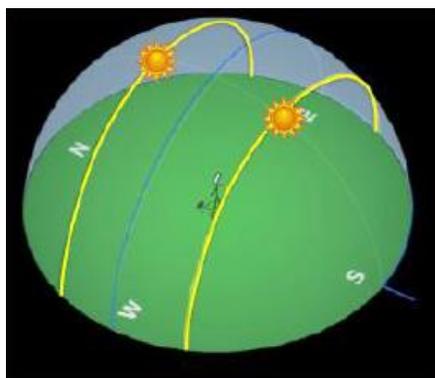
Nota. Fuente: (Gomez, 2022)

## A lo largo del año

El sol puede variar entre el norte y sur. En invierno nuestro país el sol esta ligeramente en el norte a lo largo del año por eso los modulo se orienta al norte para maximizar la producción. En verano el sol esta ligeramente hacia el sur.

### Figura 11

*Trayectoria del sol a lo largo del año.*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

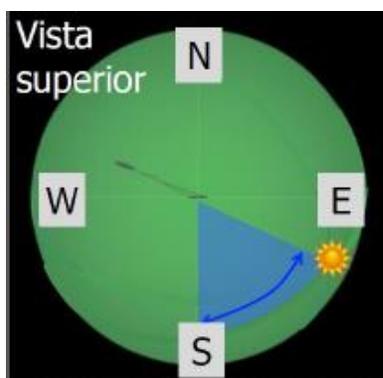
## 2.7 Orientación y Ángulo de inclinación

### Ángulo de azimut

Es la posición en grados hacia el Este u Oeste del Norte o Sur verdadero

### Figura 12

*Orientación y Ángulo de inclinación.*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

## Ángulo de elevación

Es la posición en grados sobre el horizonte del módulo FV

## 2.8 Sistemas fotovoltaicos

Esta formado de varios equipos y dispositivos tanto mecánicos como eléctricos, su función es captar la radiación solar y transformar en energía eléctrica. Hay tres tipos de sistemas fotovoltaicos que se estudian, cada uno de ellos se distinguen de acuerdo al uso en el aprovechamiento de la fuente solar.

### 2.8.1 *Sistemas aislados*

También llamados Off Grid se trata de un sistema donde se utiliza las baterías para el almacenamiento de la energía captada. Este tipo de sistema es ideal en lugares donde no se cuente con suministro de energía eléctrica. La energía generada durante el día se almacena en estas baterías y su uso es de acuerdo a la demanda de consumo de los equipos. Estas baterías se seleccionan de acuerdo a los días de autonomía y su capacidad.

#### **Ventajas**

- El servicio se puede darse en horas nocturnas
- Cuando se produce más de lo que se consume no se inyecta la energía a la red sino se almacena en las baterías.
- Todo lo que se consume del sistema es gratis

#### **Desventajas**

- La inversión inicial es considerable debido al paquete de las baterías ya que de ello dependerá la demanda que se requiera.
- El rendimiento del sistema disminuye en periodos donde el baja la radiación solar.
- Como equipo crítico es la batería ya que si falla el usuario se quedará sin servicio.

### **Características de este tipo de sistemas**

**Simplicidad:** con el uso característico de generación rápida, quiere decir que con un pequeño modulo fotovoltaico ya tenemos tensión en los bornes.

**Modularidad:** esto hace referencia que los sistemas son escalables quiere decir que, si en una primera etapa puedo instalar un sistema pequeño como por ejemplo con 12V con su cableado adecuado, controlador y la batería; pasado cierto tiempo puedo incrementar mi banco de baterías de mayor capacidad, incrementar mis módulos fotovoltaicos, el inversor y controlador, entonces mi sistema va creciendo sin necesidad de reemplazar el primer sistema pequeño sé que había instalado.

**Durabilidad:** los sistemas de paneles solares fotovoltaicos dependerán mucho de la marca y la ficha técnica ya que generalmente son de procedencia china y europea, que algunos cumplen con altos estándares de calidad por lo tanto su durabilidad será mucho mayor y al contrario las otras no.

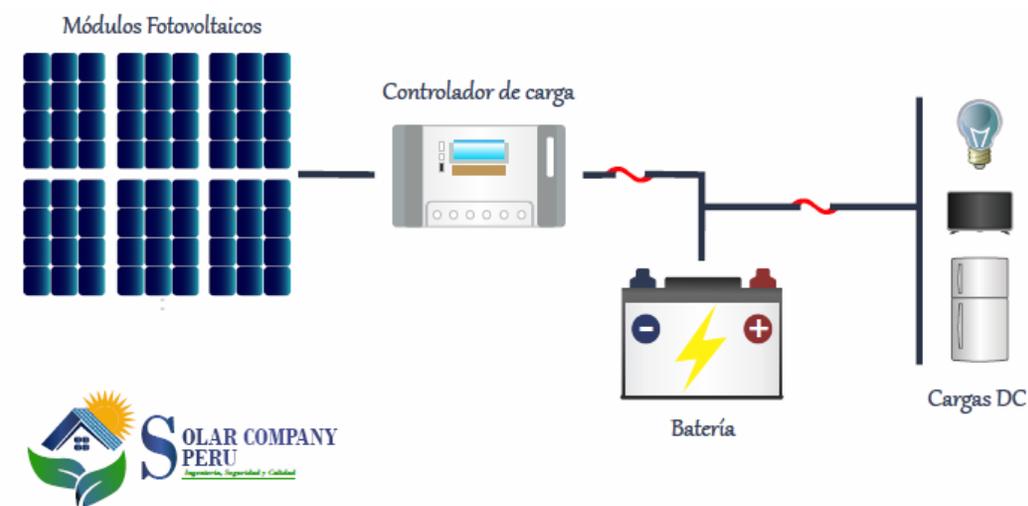
Un sistema aislado se compone por los siguientes elementos principales: modulo fotovoltaico, regulador o controlador de carga, acumulador o batería, elementos de seguridad e inversor.

### **Sistema aislado DC**

Se dan en instalaciones donde hay baja potencia (electrificación de vivienda rural, luminarias, comunicaciones, adquisición de datos, etc.)

**Figura 13**

*Sistema Aislado DC*



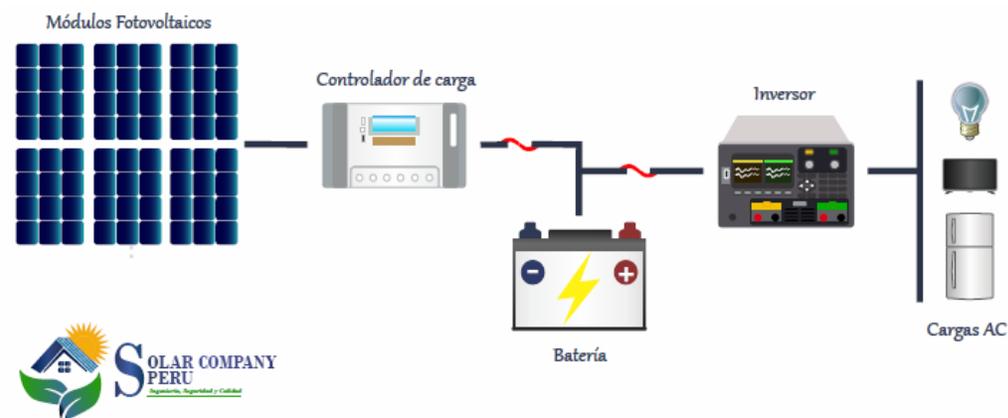
*Nota.* Fuente: (Solar Company Peru, 2021)

### **Sistema aislado AC**

Se dan en instalaciones con potencia considerable (viviendas equipadas, asociaciones, pueblos, etc). Aquí el tendido eléctrico es basto y se debe reducir pérdidas en las líneas de distribución.

**Figura 14**

*Sistema Aislado AC*



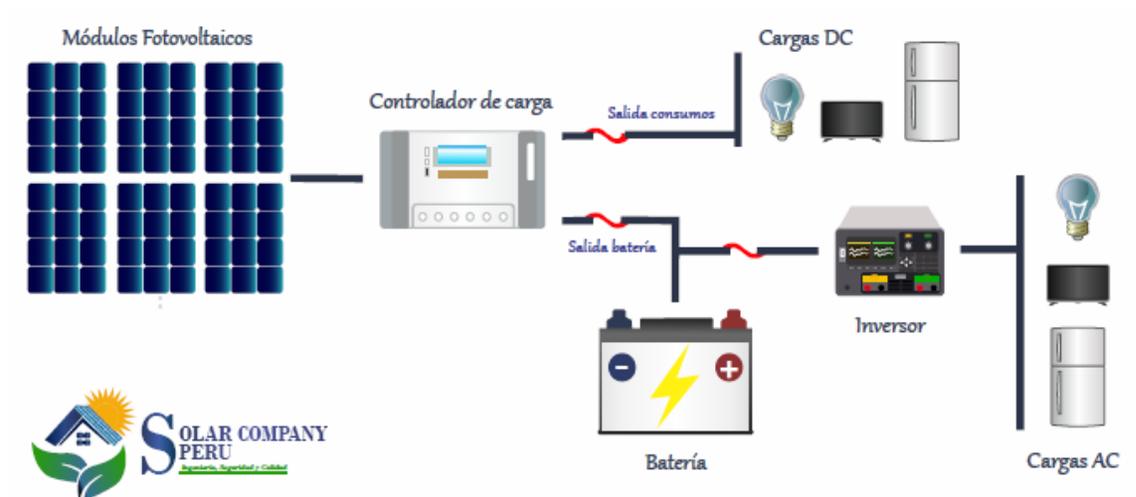
*Nota.* Fuente: (Solar Company Peru, 2021)

## Sistema aislado AC-DC

Es la combinación de los dos sistemas anteriores.

**Figura 15**

*Sistema Aislado AC-DC*



*Nota.* Fuente: (Solar Company Peru, 2021)

### 2.8.2 Sistemas conectados a la red

Este tipo de sistema se caracteriza por no utilizar baterías para el almacenamiento de la energía, por lo tanto, al momento de la inversión en un proyecto representa un ahorro económico ya que las baterías contemplan del 30% al 40% de la inversión inicial.

Otra característica es que se consume la energía eléctrica al mismo tiempo que se genera. Necesita de una red eléctrica para poder operar. Este sistema es ideal para lograr una reducción considerable en el consumo energético proveniente de la Red de Suministro.

Este tipo de sistemas Conectados a la Red están orientados a zonas industriales y urbanas.

#### Ventajas

- La generación de energía eléctrica se produce durante las horas de sol, por lo cual podemos aprovechar directamente.

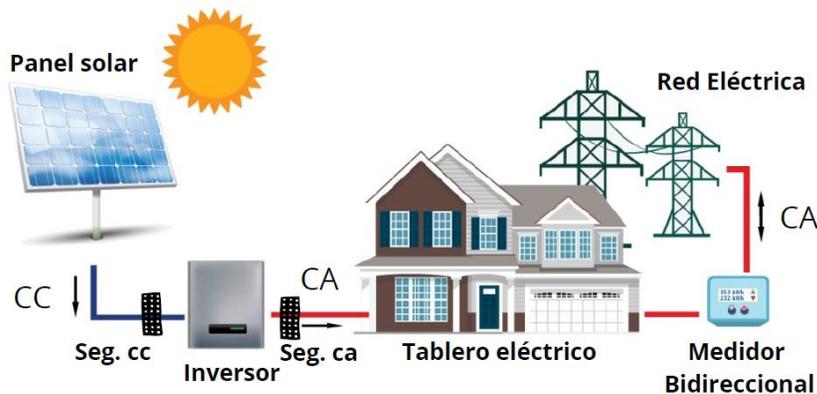
- Son muy modulares ya que permiten incrementar la potencia instalada hasta los límites técnicos del punto de conexión.
- Su mantenimiento es mínimo ya que no tiene partes móviles.
- El cliente obtiene un ahorro económico y energético durante la vida útil de la instalación (>25 años) con una inversión más cómoda (que cada año se va reduciendo más).

### Desventajas

- En nuestro país no se encuentra normada la inyección de este tipo de energía eléctrica a la red porque si una empresa quiere vender esta energía a la red no proveerá ninguna ganancia.
- Este tipo de sistema solo se aprovechará durante el día ya que por la noche la empresa distribuidora de energía eléctrica lo suministrará.
- Sus componentes son: módulos fotovoltaicos, inversor, dispositivo de gestión energética de inyección cero (medidor unidireccional o bidireccional), elementos de seguridad y la misma red donde estará conectada.

### Figura 16

#### *Sistema Conectado a Red*



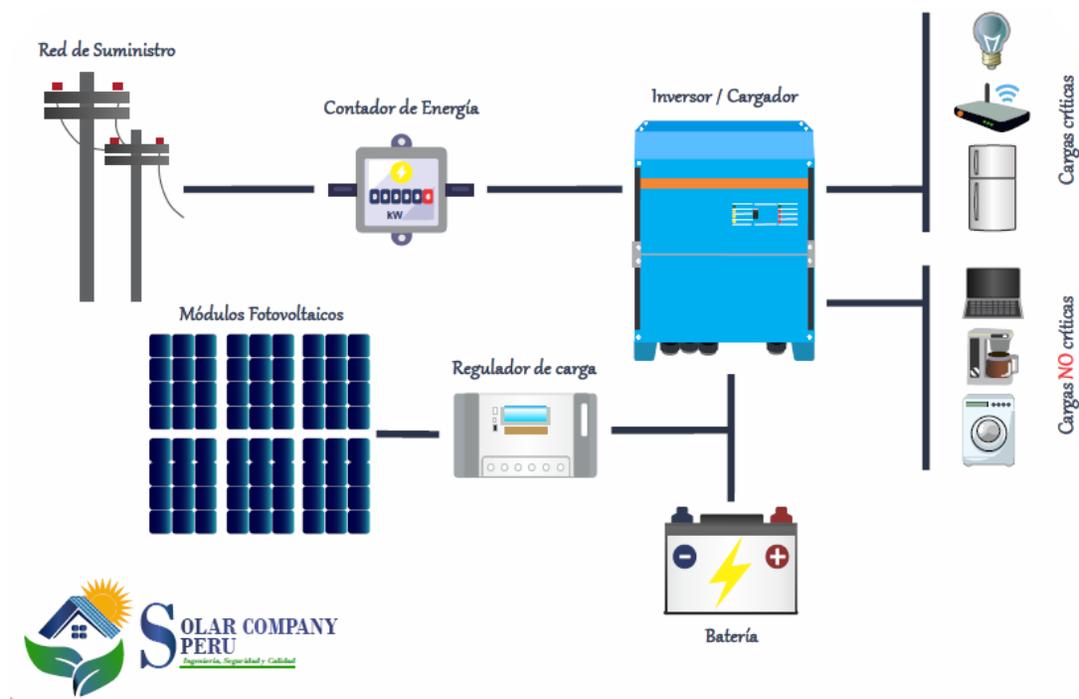
Nota. Fuente: (Casas Solares, 2021)

### 2.8.3 Sistemas híbridos

Este tipo de sistema es la combinación de un sistema aislado y conectado a red, de tal manera puede funcionar de ambas maneras.

Uno de las ventajas es que son habituales para cortes frecuentes de energía, Back UP

**Figura 17**  
*Sistema Híbrido*



Nota. Fuente: (Solar Company Peru, 2021)

## 2.9 Componentes del sistema fotovoltaico

### 2.9.1 Módulos fotovoltaicos

Su función principal de los módulos FV es convertir la energía proveniente de la luz del sol en energía eléctrica. Este módulo fotovoltaico tiene de varias células solares conectadas ya sea en serie y/o en paralelo y están disponibles en versiones flexibles y rígidas. De esta manera la potencia fotovoltaica que puede dar cada uno va a depender del número de células que posea. Los módulos

fotovoltaicos generalmente consisten en celdas solares basadas en silicio, que se montan en un marco de aluminio y están cubiertas por una placa de vidrio.

Los módulos fotovoltaicos están interconectados en sistemas fotovoltaicos individualmente o en grupos y se utilizan tanto en sistemas conectados a red, sistemas aislados o en híbridas. La totalidad de todos los paneles para un sistema fotovoltaico se llama generador solar.

Los módulos fotovoltaicos pueden conectarse en serie, lo que aumenta el voltaje del arreglo, o en paralelo, lo que aumenta la corriente del arreglo.

### **Figura 18**

*Módulos Fotovoltaicos*



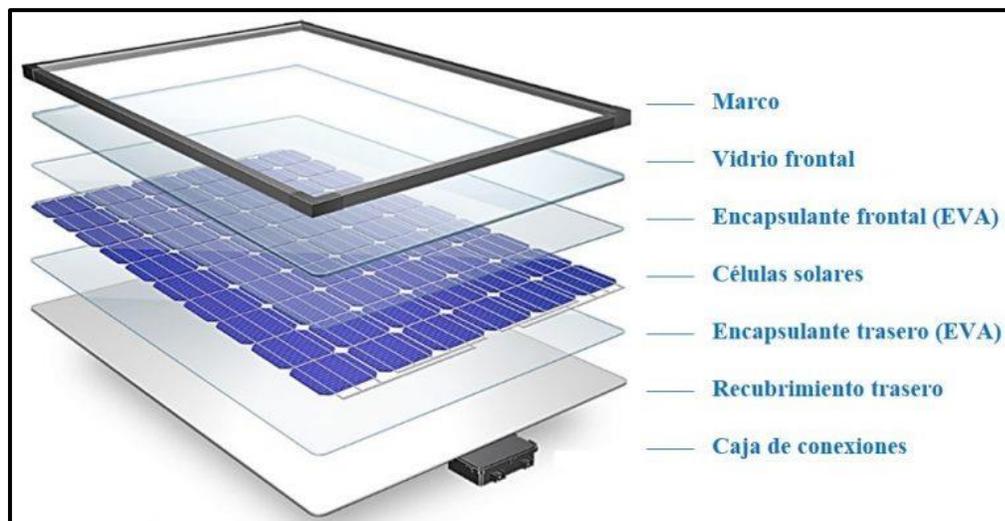
*Nota.* Fuente: (Fernández García & Cervantes Torres, 2017)

### **Composición de los módulos fotovoltaicos**

Los módulos fotovoltaicos se constituyen de la siguiente manera:

## Figura 19

### Composición de los módulos fotovoltaicos



Nota. Fuente: (AMARAE, 2020)

#### Marco

El material generalmente es de aluminio anodizado que tiene como propiedad de resistencia mecánica y soporte al conjunto.

#### Vidrio frontal

Su material es de vidrio templado cuyo espesor es de 3 a 4mm. Su cara exterior es texturizada esto es con el fin de mejorar su rendimiento cuando la radiación solar se da a bajo ángulo de incidencia para poder absorber de la mejor manera la radiación difusa.

#### Encapsulante frontal y posterior

El material es un polímero Etil Vinil Acetato (EVA) su función principal es proteger las células FV dentro del módulo, frente al aire o la humedad que estos pueden producir la oxidación del silicio.

### **Recubrimiento posterior**

Está formado de fluoruro de polivinilo (PVF) y funciona como un aislante dieléctrico, y tiene una gran resistencia a la radiación ultravioleta. Otra de sus propiedades es que funciona como una barrera frente a la humedad del ambiente y así ofrece una gran adhesión al material del que está hecho el encapsulante interior.

### **Caja de conexiones**

Está compuesta de bornes de varias conexiones y tiene un grado de protección IP65, de esta caja de conexiones parte el cableado exterior de módulos a otros módulos y todo ello compone el sistema fotovoltaico. En estas cajas están los diodos de protección cuya función principal es disminuir las pérdidas de energía debido al efecto de las sombras que se pueden presentar durante el día. Cuando se producen el fenómeno de la sombra sobre un módulo FV, este deja de generar corriente y se convierte en absorbedor de energía, lo que va a producir el recalentamiento del mismo y podría dañarlo. (Lopez Ruiz, 2015)

## **2.9.2 Células fotoeléctricas o fotovoltaicas.**

### **Principio fotoeléctrico**

Según (Serway & Jewett, 2008) lo define como un proceso por el cual se expulsan los electrones de una superficie metálica cuando la luz incide en ella.

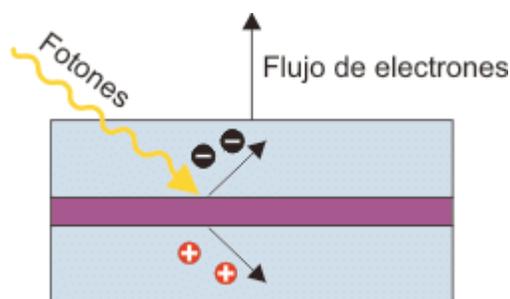
### **Efecto fotovoltaico**

Actualmente los sistemas fotovoltaicos comerciales se fundamentan sobre el principio fotoeléctrico, de acuerdo a ello la energía solar se puede convertir en energía eléctrica. Este efecto se da en las células fotovoltaicas que es la unidad principal de los modulo FV. La radiación solar (luz) está compuesta por fotones. Estas partículas tienen una energía (E) que depende de su

longitud de onda ( $\lambda$ ) de la radiación. El proceso funciona de la siguiente manera: el fotón es absorbido por la célula FV y esta energía es transferida a los átomos que se componen. Ahora con esta energía transferida los electrones que se sitúan en la capa más alejadas van a saltar y dejar su posición original, para así crear un circuito eléctrico. (Lopez Ruiz, 2015)

### Figura 20

#### *Efecto fotovoltaico*



Nota. Fuente: (Gonzalez Pinzon, 2013)

### 2.9.3 Célula solar

Una célula solar está compuesta por un tipo de material llamados semiconductores y se comporta como un diodo: el semiconductor de tipo N está expuesta a la radiación solar y el semiconductor de tipo P está en la zona de oscuridad. Cada célula FV tiene sus terminales y están situados sobre cada una de estas partes del diodo. La cara donde está el semiconductor de tipo P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), en cambio la cara donde está el semiconductor tipo N es metalizado esto se da con el fin que la radiación llegue en ella.

Cuando la luz de la energía solar incide sobre una célula FV lo que se produce es la liberación de electrones que son atrapados por el campo eléctrico formando así la corriente eléctrica. Es por ello que las células FV se fabrican de estos tipos de materiales ya que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando esta aumenta de energía.

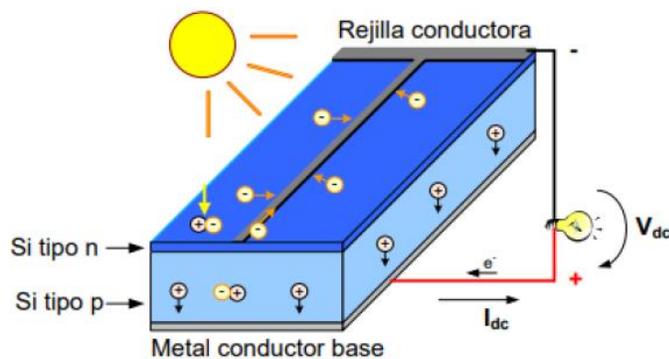
Los fingers recolectan todos los electrones y lo mandan a un bus bar ya que es uno de los parámetros para su selección de un módulo fotovoltaico. La corriente tiene que ver con la cantidad de electrones que se extrae y es proporcional al número de fotones absorbidos. El voltaje surge de la diferencia de la energía libre entre los electrones liberados y los enlazados. La potencia como sabemos es el producto del voltaje y la corriente.

Le eficiencia se puede definir como la relación de la potencia eléctrica suministrada y la potencia luminosa recibida.

La mayoría de las células FV actualmente en el mercado son del silicio monocristalino o policristalino

**Figura 21**

*Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

**Eficiencia de conversión**

Hace referencia a la mayor cantidad de potencia en un área determinado, independiente que sea monocristalino o policristalino. Cuando hablamos de eficiencia de una célula fotovoltaica nos referimos a varios parámetros como la potencia de salida que dependerá de la tensión de máxima potencia ( $V_{MPP}$ ) como la corriente de máxima potencia ( $I_{MPP}$ ) y la potencia incidente, este

último parámetro dependerá del área de la célula ( $S_{CELL}$ ) por la irradiancia que se mide en  $1000W/m^2$ .

$$n_{cell} = \frac{(V_{MPP})(I_{MPP})}{(S_{cell})(1000 W/m^2)}$$

## Tipos de células

### Monocristalinas

Está conformado por un solo cristal de Silicio que luego se corta en varias capas delgadas que dan lugar a las células.

Se caracteriza por su color oscuro y compacto, sus cristales son orientados de la misma forma; tiene una eficiencia elevada (22-26%) en su riguroso proceso de fabricación debido a la alta pureza del silicio con un 99%; su costo de fabricación es elevado; tiene un elevado gasto de fabricación; su célula posee un espesor común de 200um.

Su uso es muy recomendable en climas fríos y con nubosidad. Si se instala un módulo monocristalino en un lugar donde la temperatura es elevada la tensión de dicho módulo baja y en consecuencia su potencia de salida.

### Figura 22

*Célula FV Monocristalina*



*Nota.* Fuente: (AutoSolar, 2015)

## **Policristalino**

Es el principal protagonista de la expansión fotovoltaica principalmente por su costo que es menor que un monocristalino. Se caracteriza por sus cristales en diferentes direcciones, tiene una tonalidad azul, su costo de fabricación es menor, tiene eficiencias cercanas a 18.6%, es usada en generación a gran escala por ejemplo en parques fotovoltaicos. Su capacidad de amortización es más rápida frente a los paneles monocristalinos por su precio. La calidad de silicio utilizado es menor.

Su uso es muy recomendable en lugares cálidos, poca nubosidad, mucho calor. Se comporta mejor frente al aumento de la temperatura.

Se obtiene fundiendo silicio de grado industrial, el que se vierte en moldes rectangulares, de sección cuadrada.

### **Figura 23**

*Célula FV Policristalino*



*Nota.* Fuente: (AutoSolar, 2015)

## **Paneles solares amorfos**

Estos tipos de módulos FV tienen un alto grado de desorden en la estructura de sus átomos por lo tanto tienen varios defectos y como consecuencia tienen baja eficiencia de conversión. Ahora para poder reducir estos efectos que se tienen el espesor del material de las células FV es 10 veces menor que el de una célula de silicio monocristalino. Como desventaja está en su menor producción de conversión debido a su naturaleza amorfa de capa fina ya que es flexible.

Debido a esta desventaja que tienen estos módulos FV, no se recomienda en instalaciones de sistemas fotovoltaicos.

Una de las características de las células solares amorfas está en su potencia ya que se reduce con el tiempo durante los primeros meses de uso.

Poseen los valores más bajos de eficiencia:

Ensayo celda individual en laboratorio: 13%.

Como panel solar: 5% 8%.

## Figura 24

*Celda Solar Amorfa*



*Nota.* Fuente: (Espinoza Paredes, 2017)

### 2.10 Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos

**Potencia Nominal:** La potencia nominal de un módulo solar se mide en Watt Pico (Wp) se define como la potencia generada por el panel en condiciones de laboratorio estándar (condiciones de prueba estándar) con una irradiación de luz de  $1000 \text{ W / m}^2$ , temperatura de  $25^\circ \text{ C}$ , ángulo de irradiación de  $90^\circ$  y un espectro de luz denominado AM (masa de aire) de 1.5. Generalmente los módulos fotovoltaicos generan potencias inferiores a la potencia nominal debido a las condiciones atmosféricas y a la hora del día. No se puede usar directamente la potencia pico (Wp) para dimensionar todo el arreglo fotovoltaico.

**Corriente de corto circuito:** Es la corriente que circula a través de la célula FV y se da cuando el voltaje de la célula solar es cero (es decir, cuando la célula solar está cortocircuitada). Generalmente se escribe como  $I_{SC}$ . Las células solares de silicio bajo un espectro AM1.5 tienen una corriente máxima posible de  $46 \text{ mA/cm}^2$ . En laboratorio se han medido corrientes de  $I_{SC}$  mayores a  $42 \text{ mA/cm}^2$ , y las células solares comerciales tienen  $I_{SC}$  alrededor de  $28 \text{ mA/cm}^2$  y  $35 \text{ mA/cm}^2$ . (Trejo Pacheco, 2019)

Para hacer la prueba de un corto circuito necesitamos el módulo fotovoltaico, una llave termomagnética de corriente continua y se hace el corto circuito en el mismo luego subimos la llave.

**Voltaje de circuito abierto:** El voltaje de circuito abierto que generalmente se escribe como  $V_{OC}$ , es el voltaje máximo disponible de una célula solar, y esto ocurre a una corriente de cero. El voltaje de circuito abierto corresponde a la cantidad de polarización directa en la celda solar debido a la polarización de la unión de la célula solar con la corriente generada por la luz.

La corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto de un módulo fotovoltaico permiten determinar la llamada curva IV del módulo fotovoltaico que es de gran importancia para el cálculo del punto óptimo de generación.

**Punto de Máxima Potencia (PMP):** Es el resultado del producto de la tensión máxima ( $V_M$ ) y la intensidad máxima ( $I_M$ ).

Para hacer la prueba se da cuando tenemos el módulo fotovoltaico conectamos a una carga específica y que me extraiga la máxima potencia; y esa potencia máxima estará determinado por la corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{PMP}$ ) y la tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{PMP}$ ).

**Factor de forma (FF):** Este factor se obtiene del cociente de la potencia máxima que se entrega a una carga y el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito.

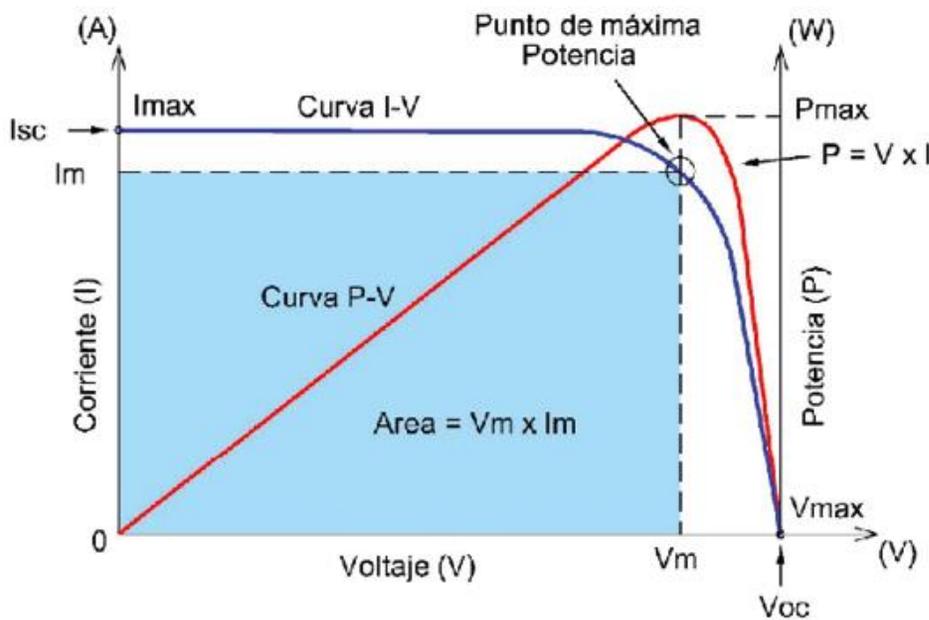
$$FF = \frac{I_M V_M}{I_{SC} V_{OC}}$$

### 2.11 Curvas IV

Esta curva característica IV nos da a entender que relación que hay entre la corriente que pasa a través de un dispositivo y la tensión aplicada en sus terminales. En el caso propio de los módulos FV dichas curvas se usan para determinar el punto de máxima potencia de ello. La figura 25 muestra una curva VI característica de un módulo fotovoltaico y su relación con la potencia generada por el mismo.

**Figura 25**

*Curva IV característica de un módulo fotovoltaico*



*Nota.* Fuente: (Jerez, 2020)

En esta grafica corriente (I) vs tensión (V) podemos observar los parámetros como la corriente de corto circuito ( $I_{SC}$ ), la tensión de circuito abierto ( $V_{OC}$ ) la corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{PMP}$ ), la tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{PMP}$ ).

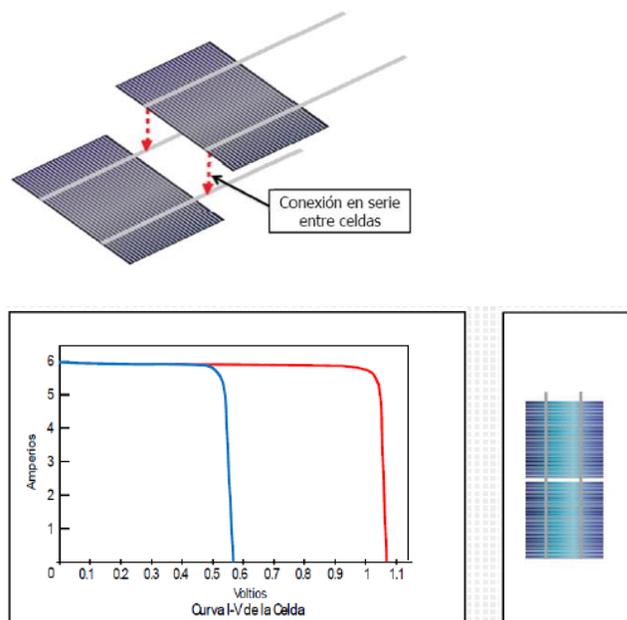
Si realizamos el cortocircuito es decir juntamos los terminales en el módulo fotovoltaico significa que la tensión es cero y la corriente sería la corriente de corto circuito ( $I_{SC}$ ), ahora si abro los dos terminales la corriente será cero y tendré la máxima tensión llamado tensión de circuito abierto ( $V_{OC}$ ). Ahora si se coloca una carga que nos extraiga la máxima potencia definirá dos parámetros, la corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{PMP}$ ) y la tensión en el punto de máxima potencia ( $V_{PMP}$ ) y el área me definirá la máxima potencia del módulo fotovoltaico.

## 2.12 Unión de células

Para la unión de dos células fotovoltaicas la parte de arriba es el polo negativo y la parte de abajo es el polo positivo y su conexión es en serie mediante los bus bar.

### Figura 26

*Unión de Células Fotovoltaicas*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

En la imagen podemos observar la unión en serie de dos células fotovoltaicas, la curva azul corresponde a una célula FV y al poner dos células FV simplemente se suma a tensión y la corriente se mantiene.

### 2.13 Mejoras en las células FV

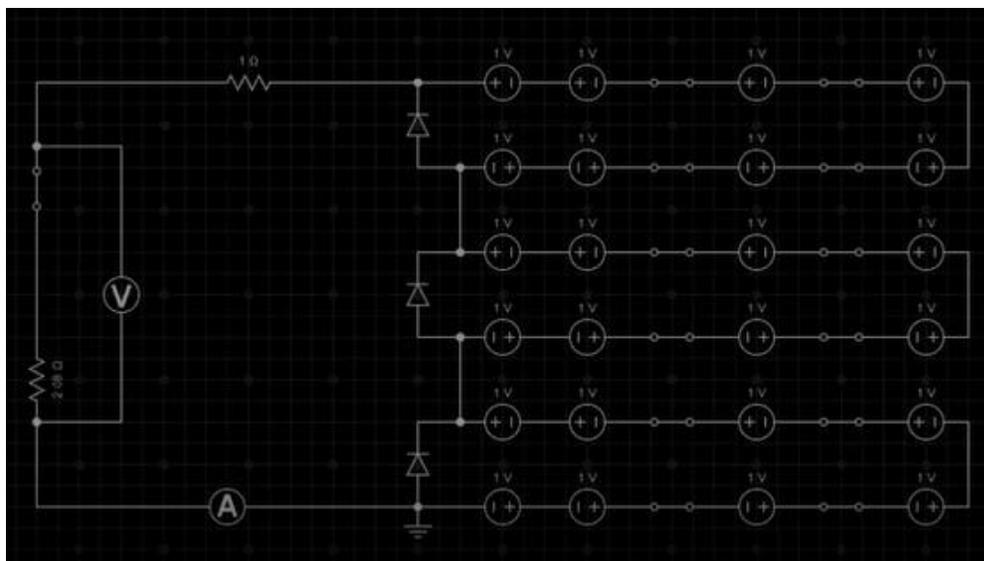
- Mejora en el proceso productivo de las células FV
- Mejoras en las grid-lines (fingers)
- Mejoras en los bus-bars
- Capaz anti reflexivas
- Geométrica de fabricación, en el caso que sea células enteras o medicas células
- Texturizados (menor reflexión)
- Células bifaciales

### 2.14 Células medias

Presenta el mejor comportamiento frente a las sombras. Este tipo de módulos FV de células medias se dividen por la mitad esto para mejorar su rendimiento y durabilidad.

**Figura 27**

*Arreglo de las células medias de un Módulo FV*

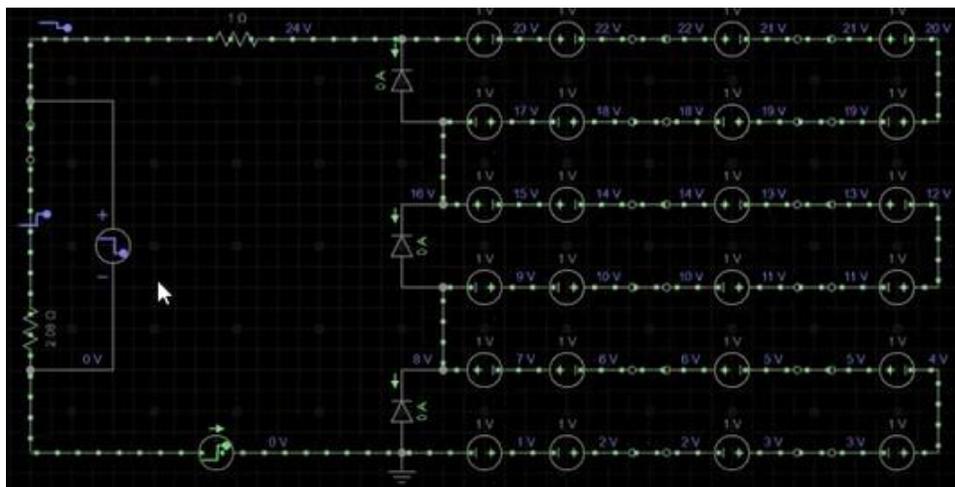


*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

En la figura podemos ejemplificar un pequeño arreglo de un módulo fotovoltaico donde tenemos tres diodos bypas, celdas FV, se puede asumir de 72 o 60 células, de una determinada potencia. Los diodos bypas me sirven para hacer respuesta frente a las sombras.

**Figura 28**

*Funcionamiento de las células de un módulo FV*

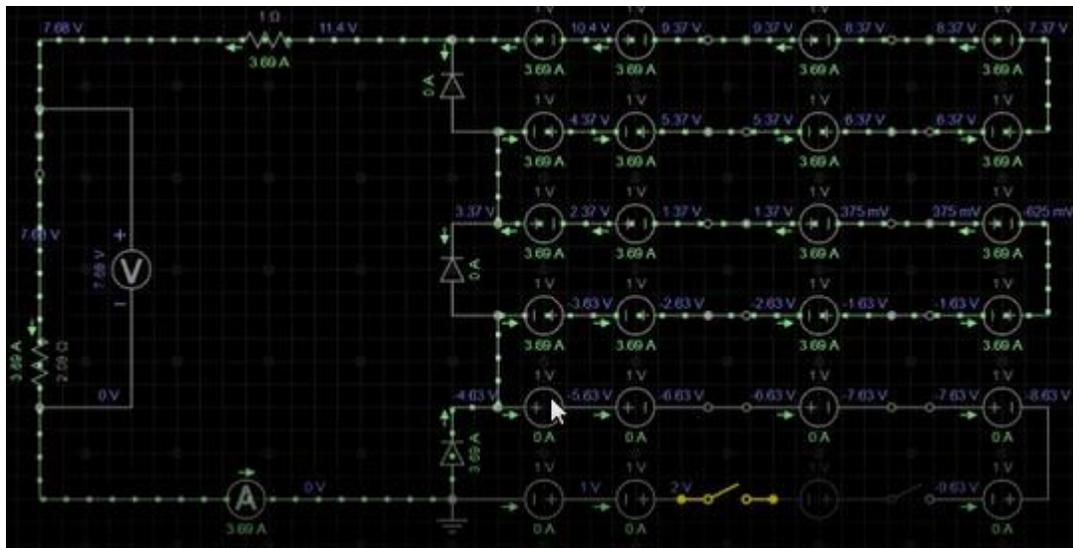


*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

En la figura podemos observar el funcionamiento del circuito de un módulo FV, se puede apreciar un flujo de corriente, todas las células FV conectadas en serie; también se puede observar que por los diodos nos pasa ninguna corriente. Ahora si ocurre la sombra producida por un agente externo la célula FV se desactivará y se deshabilitan dos cadenas por lo tanto el diodo bypas empezara a funcionar como podemos ver en la figura. Si se llega a tener más sombras se pierde la producción energética del módulo FV

**Figura 29**

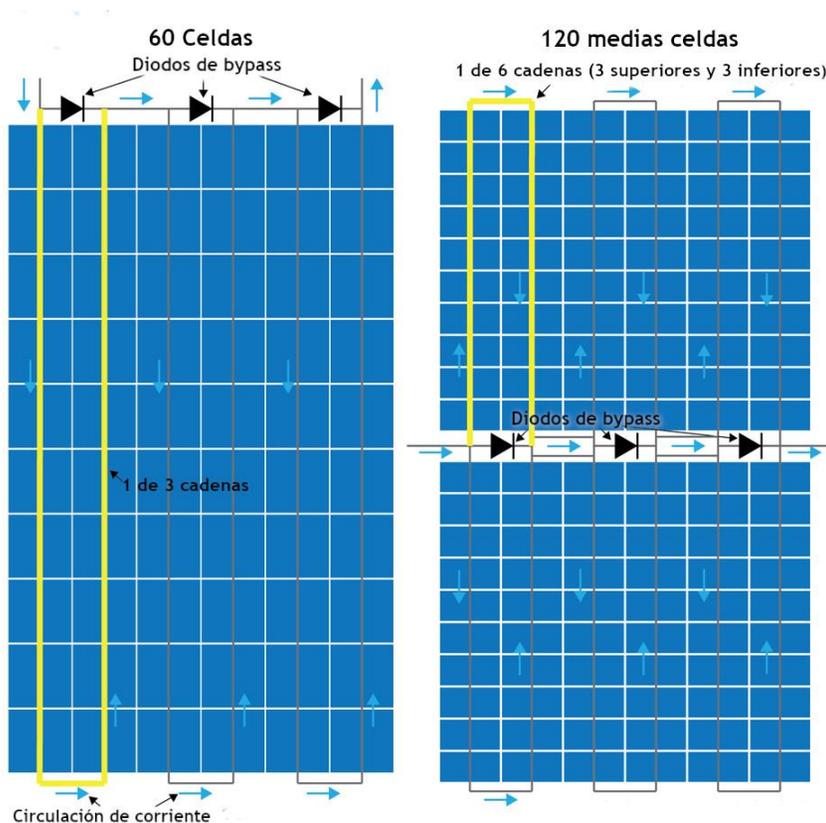
*Funcionamiento del diodo bypass en el módulo FV*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

**Figura 30**

*Diferencia entre un módulo FV tradicional y con células medias*



*Nota.* Fuente: (San Juan , 2019)

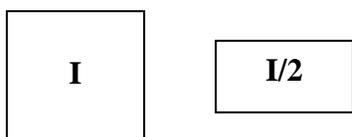
En la figura podemos observar la diferencia entre un módulo FV tradicional y otro con células medias. Los módulos FV tradicionales de 60 y 72 celdas ahora tendrá 120 y 144 celdas respectivamente. La característica de estas células medias está en dos grupos en paralelo y cada grupo tiene tres cadenas en serie en la parte de arriba y de 3 cadenas en serie en la parte de abajo. Con este tipo de arreglo se logra la mismas corriente y voltaje y como consecuencia mayor eficiencia.

Ahora como las celdas solares se reducen a la mitad lo que pasa es que la corriente también se reduce a la mitad y por lo tanto las pérdidas por resistencia también se reducen, gracias a ello las celdas pueden producir más energía que las celdas tradicionales. Otra ventaja es que las celdas

más pequeñas producen tensiones mecánicas reducidas, por lo que hay menos grietas y mejora su rendimiento. Entonces podemos afirmar que los módulos FV de células medias tienen salidas de energía más alta y son más confiables que los módulos FV tradicionales.

Como sabemos los módulos FV de células medias producen más potencia y son más eficientes que los módulos FV tradicionales; esta ventaja nos ayuda a generar ahorro económico y tiempo durante su uso. Ahora como estos módulos FV están compuestos por cadenas de 6 en lugar de 3, los efectos generados por el fenómeno de la sombra son mucho menores.

Perdidas por conducción:



Célula entera (1)      célula media (2)

$$\Delta P_1 = I^2 R$$

$$\Delta P_2 = \left(\frac{I}{2}\right)^2 R$$

$$\Delta P_2 = \frac{I^2 R}{4}$$

$$\Delta P_2 = \frac{\Delta P_1}{4}$$

Las pérdidas por conducción en célula partida es la cuarta parte si fuera de una célula entera por lo tanto se comportará mucho mejor una célula FV partida ya que la temperatura sigue siendo más baja y se tendrá mucha más potencia de producción.

## 2.15 El texturizado

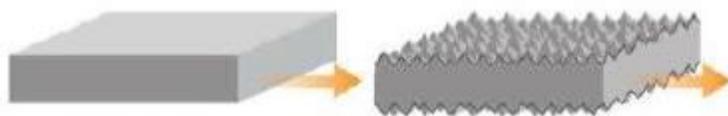
Es una de las mejoras de las células fotovoltaicas. Un módulo fotovoltaico a simple vista del ojo humano parece tener un acabado plano y completamente liso. Pero si vemos desde el punto

a escala microscópica, las células FV muestran unas formas piramidales que componen toda la superficie. La razón del texturizado es que me permite captar la mayor cantidad de radiación solar que se capta en la célula FV.

Esto nos indica que, si la superficie de las células FV fuera completamente lisa se produciría una gran pérdida de la radiación recibida, debido a la merma ocasionada por la reflexión. Pero con una superficie texturizada en forma piramidal, esta radiación reflejada puede ser aprovechada al volver a incidir con las diferentes nano-pirámides, y así obtener el máximo rendimiento de cada rayo solar captado.

### Figura 31

*El texturizado en las células FV*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

### 2.16 Bus-bars

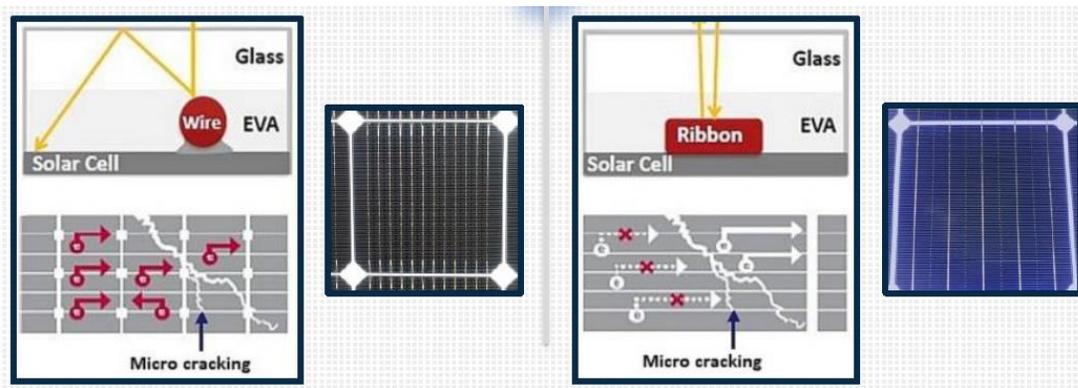
Actualmente en un módulo fotovoltaico clásico se ven con 5 bus-bars que es una cinta metálica que cubrirá una cierta área. La desventaja esta, que si entra una cierta radiación solar rebotara en forma perpendicular directamente al espacio, por lo tanto, no se captara mayor radiación otra desventaja es el área que está cubierto por la cinta metálica es mayor. También si se presentan micro fisuras los electrones no podrán pasar hacia el bus-bars por lo tanto se pierde potencia.

La mejora en esta parte de la célula FV es que ya no se utilizan cintas metálicas ahora es un cable. La ventaja es que si entra una cierta radiación solar por su superficie circular rebotara en el vidrio y volverá a incidir sobre la célula FV y como son cables más delgados ya no ocupan

mucha área y se captara mayor radiación. Aquí se pueden colocar muchos bus-bar llamados multi bus-bars. Cuando se tiene muchos bus-bars tenemos menos resistencia de conducción por tanto la temperatura disminuirá y se mejora el rendimiento de la célula FV. Ahora si se tiene micro fisuras y como se tiene muchos bus-bars se tienen más caminos para recolectar los electrones.

### Figura 32

*Bus-bars en las células FV*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

### 2.17 Diodos bypass

Vienen por lo general dentro de una caja IP67 o IP68. En los módulos grandes encontraremos 03 diodos bypass; en los módulos clásicos irán en la parte superior y en los módulos de células partidas irán en el centro por la parte posterior.

Los diodos bypass lo que hacen es evitar el fenómeno del sombreado en el módulo FV-placa solar, evitan que se produzcan puntos calientes. Funciona de la siguiente manera:

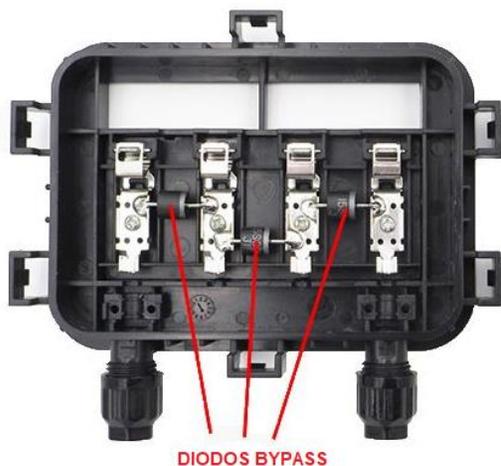
Cuando el módulo FV está sin sombras; en el diodo bypass se crea una tensión de negativa a positiva por lo tanto no se conduce la corriente. En otras palabras, es como si en modulo FV no estaría conectado.

Ahora si se produce el fenómeno del sombreado en el módulo FV ya sea por las hojas de los árboles, sombras de las casas contiguas, etc. Aquí una parte de las células FV dejan de generar

tensión y se comportan como una resistencia lo que se produce una caída de tensión y esto invertirá la polaridad en el diodo. El diodo lo que va hacer es abrir y permitir el paso de la corriente a través de él.

### Figura 33

#### *Diodos Bypass*



*Nota.* Fuente: (New Energy, 2021)

### 2.18 Tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell)

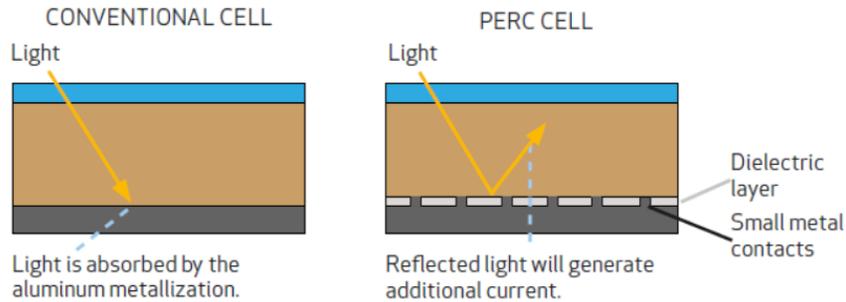
Actualmente la mayoría de los módulos FV con potencia encima de los 300W cuenta con tecnología PERC tanto en monocristalino o policristalino. Consiste en colocar una capa reflectante (Dielectric Layer) para aprovechar la radiación al máximo. Es decir, es el proceso que se añade una capa adicional en la parte posterior del módulo FV. Esta capa lo que hace es reflejar de nuevo hacia la célula los fotones que atraviesan a través de ella y como resultado hay un aumento en la eficiencia total del módulo FV.

De esta manera los modulo FV que son fabricados con esta tecnología tiene la características de que sus células tiene una capa posterior lo que hace es captar más radiación solar y una lámina que lo que hace es que la luz solar sobrante rebote dentro de la misma célula y se

pueda aprovechar más radiación (en comparación de las placas solares FV tradicionales que no se aprovechan esta radiación sobrante).

### Figura 34

#### Tecnología PERC



Nota. Fuente: (Tecnosol, 2019)

## 2.19 Módulos FV Bifaciales

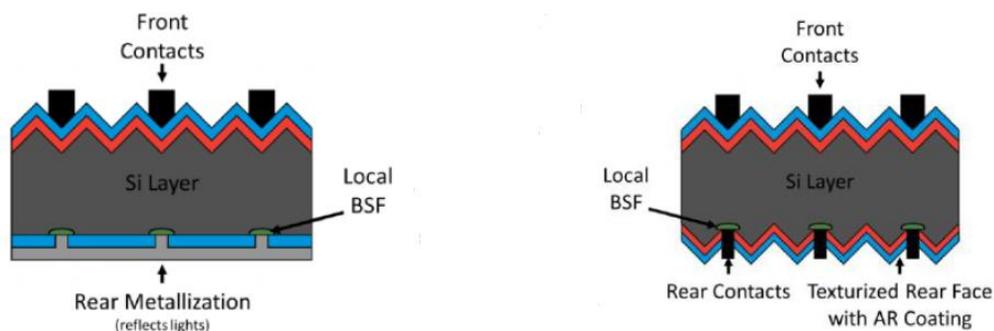
Una modulo FV bifacial se caracteriza porque es sensible a la luz por ambas caras a comparación de los módulos FV monocristalinos que se caracterizan en su parte posterior cubierto con materiales opacos y ello hace que no capte la radiación solar para su mejor producción.

En un módulo FV bifacial su parte posterior está hecho de una lámina transparente con vidrio templado doble y esto hace que se aproveche más la radiación solar, mientras que es su parte delantera se aprovecha la radiación directa. Como este módulo tiene dos caras para captar la radiación solar tiene mayor producción que los otros módulos.

Sus células FV son monocristalinas, y en algunos casos suelen ser policristalinas.

**Figura 35**

*Modulo Fotovoltaicos Bifaciales*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

**Funcionamiento de un Módulo FV Bifacial**

Para que este módulo FV pueda funcionar de la mejor manera hay que tener en cuenta tres factores:

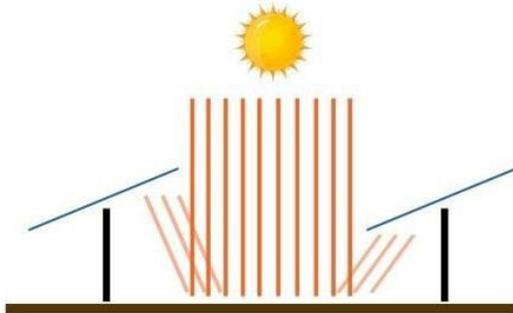
**El albedo:** Es el porcentaje de radiación solar que una superficie determinada refleja.

Para la tierra su porcentaje de albedo es alrededor de 35%, para superficies claras y brillantes su albedo esta alrededor de 60%. Cuando el porcentaje de la radiación es mayor se tiene mayor aprovechamiento de la energía solar. (Inarquia, 2022)

**Distancia entre paneles:** En el momento de la instalación de estos tipos de módulos FV es muy importante calcular la distancia entre módulo y módulo ya que ello llevará a la mayor producción de energía. Podemos ver en la siguiente figura 36.

## Figura 36

### *Distancia entre Módulos FV*



*Nota.* Fuente: (Inarquia, 2022)

**Las propias estructuras de los paneles:** Estas estructuras están compuestas de varios materiales ya sea el cableado, las conexiones y demás accesorios, todo ello no permite la captación total de la radiación y ello conlleva pérdidas en la producción, estas pérdidas se pueden estimar hasta un 20%. (Inarquia, 2022)

### **2.20 Caja de conexiones**

Estas cajas de conexiones en el sistema FV se caracterizan porque se encargan de conectar la matriz de las células FV y los dispositivos de control de la carga solar. Tiene un diseño característico de campo cruzado que componen de diseño eléctrico, mecánico y la ciencia de los materiales. La caja de conexiones de los módulos FV cumple un rol muy importante ya que conecta la energía que produce la celda FV con las líneas externas. Las cajas de conexiones fotovoltaicas conectan y protegen los módulos FV. (New Energy, 2021)

## Figura 37

### *Caja de Conexiones*



*Nota.* Fuente: (New Energy, 2021)

### **2.21 Cables de conexión**

Los módulos FV traen los cables positivo y negativo con terminales especiales llamadas usualmente MC4.

Cuando los sistemas son de bajo voltaje pierden una cantidad de energía a través del sistema de cableado. Esto se debe a la corriente ya que son más altas para compensar la falta de voltaje. La ley de Ohm nos dice que la potencia perdida a través del cable es proporcional al cuadrado de la corriente: cuanto mayor es la corriente, mayor es la pérdida de energía. Para disminuir esta pérdida de energía, debemos aumentar el voltaje o usar cables más gruesos. Donde sea que esté utilizando cableado de bajo voltaje (desde el arreglo de paneles solar hasta controlador y a todos los equipos de corriente continua de bajo voltaje) se asegura el diámetro correcto de cable. Si el tamaño del cable es demasiado pequeño se obtendrá una caída de tensión significativa, los cables también pueden calentarse y, en casos extremos, podría derretirse o provocar un incendio.

En un arreglo fotovoltaico se deben utilizar cables que tengan un aislamiento mucho más resistente y que estén protegidos contra rayos UV, diseñado para soportar altas temperaturas y que

también puedan soportar excrementos ácidos de aves. El estándar más común que se debe cumplir es UL 4703 o UL 854.

### **Figura 38**

*Cable Fotovoltaico*



*Nota.* Fuente: (Tullynn, 2013)

### **Figura 39**

*Terminales MC4*



*Nota.* Fuente: (AutoSolar, 2022)

## **2.22 Grado de proteccion IP**

El grado de protección IP hace referencia a la norma internacional CEI 60529 en España es la UNE 20324 que equivale a la europea EN 60529. Estas siglas hacen referencia al término “International protection” que me indica el grado de protección del módulo FV contra materiales sólidos (como el polvo) y líquidos (como el agua).

**Primer dígito: Protección contra sólidos**

Este dígito informa del nivel de protección frente a objetos o materiales sólidos y su escala va del 0 al 6.

**Segundo dígito: Protección contra líquidos**

Este dígito informa del nivel de protección frente a objetos o materiales líquidos y su escala va del 0 al 8.

**Figura 40**

*Grado de protección de los Módulos FV*



Nota. Fuente: (Gomez, 2022)

En términos generales para módulos FV estaríamos hablando que los certificados IP más usados que son IP65, IP67 e IP68.

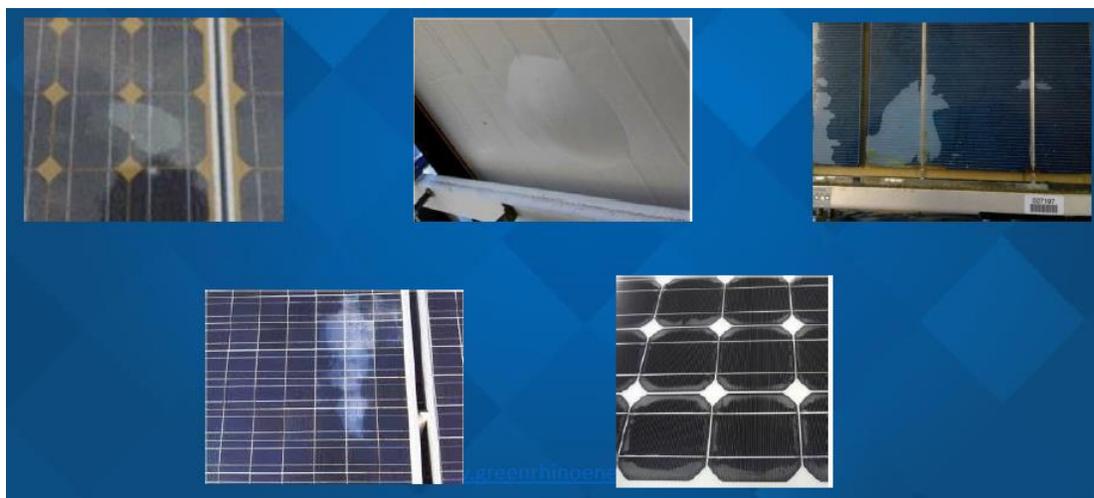
Un módulo FV con certificación IP65 proporcionará protección contra el polvo y no podrá dañarse con chorros de agua a baja presión. Puede haber una entrada limitada en el interior, cosa que puede impedir el correcto funcionamiento de tu placa solar. Un modulo FV con certificación IP67 nos asegurará estar protegido completamente contra el polvo y funcionará correctamente después de una inmersión temporal en agua de hasta 1 m de profundidad, y un módulo FV con certificación IP68 estará completamente protegido del polvo y no podrá dañarse por inmersiones en agua a más de 1 m.

### 2.23 Anomalías de un módulo FV

**La delaminación:** ocurre durante el ensamblaje de los componentes del módulo FV. Cuando no hay un buen proceso de secado entre una lámina y el siguiente ocurre la anomalía de la delaminación. Hay un proceso de ensamblado muy riguroso entre el EVA, las células y el Tedlar que debe tener un buen proceso de secado que son alrededor de 4horas a 6horas aproximadamente. Solamente así no podrá ocurre posteriores problemas de delaminación.

#### Figura 41

*Anomalías de los Módulos FV*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

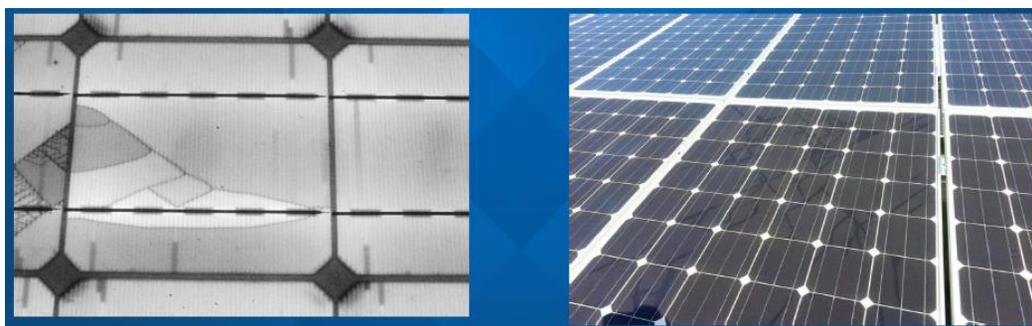
**Las microgrietas:** Se caracterizan porque son pequeñas en las células FV y esto se origina porque no fueron trasladados cuidadosamente, habido defectos durante su fabricación y demás factores externos. Estas grietas que se ocasionan en los módulos FV al inicio no provocan pérdida en la producción de la energía, pero los cambios de clima y el desgaste del propio modulo pueden generar problemas más adelante y en este caso si sería un problema mayor.

Para poder categorizar el rendimiento de un módulo FV es importante realizar el control de calidad mediante la electroluminiscencia esto nos ayudara mucho de cómo fue fabricado y como serán sus tareas de mantenimiento una vez instalados. Mediante la electroluminiscencia nosotros podemos evaluar la eficiencia de las células FV en cada uno de sus puntos.

La prueba de la electroluminiscencia nos permite ver los defectos de las células FV que no podemos ver a simple vista, de esta manera se puede detectar los factores que causan la ruptura de los colectores al momento de la fabricación de las células FV y frente a ello se puede implementar las soluciones y mejorar su calidad para aumentar la vida útil del módulo FV.

### **Figura 42**

*Microgrietas en los módulos FV*

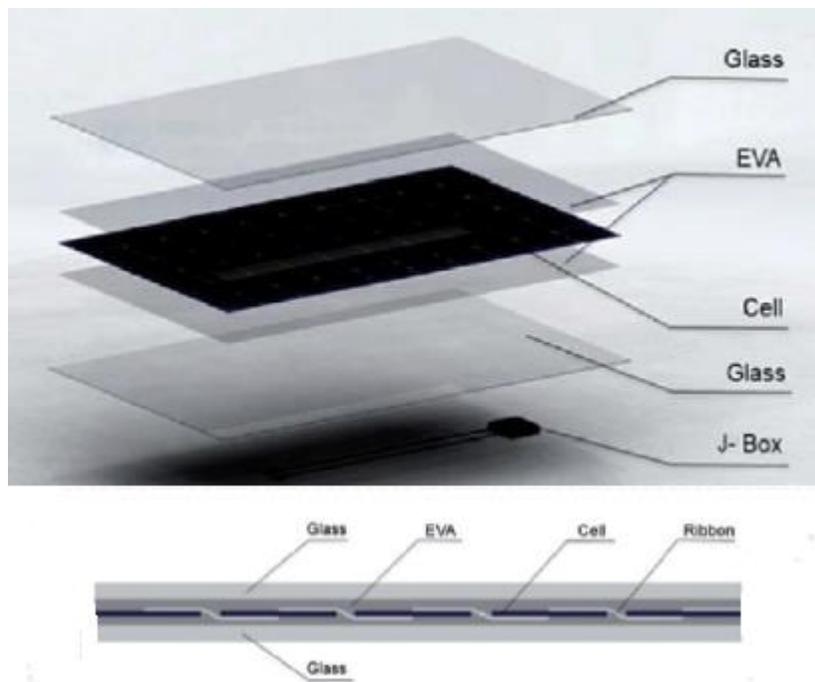


*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

Algunos módulos FV para su mayor protección frente a los agentes químicos, salinidad, humedad se suelen poner en vez del tedlar otro vidrio por lo tanto las micro fisuras se reducen enormemente. En nuestro mercado peruano si se cuenta con estos tipos de módulos FV.

**Figura 43**

*Protección frente a las micro fisuras.*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

## 2.24 Parámetros de estandarización

### Condiciones estándar de medida

*Radiacion:*  $1000W/m^2$

*AM(masa de aire):* 1.5

*Tº de la celula:*  $25^{\circ}C$

Bajo estas condiciones puedo medir la potencia nominal de un módulo FV,  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{MPP}$ ,  $V_{MPP}$  y se ve en las fichas técnicas. A nivel de la superficie terrestre en promedio se tiene  $900W/m^2$  de radiación ya que es un poco difícil tener una radiación de  $1000W/m^2$ .

### Temperatura de operación nominal de la célula (TONC o NOCT)

Es la temperatura que la célula alcanza dentro del módulo FV si tenemos los siguientes parámetros:

$E(\text{Radiacion}): 800W/m^2$

$AM(\text{masa de aire}): 1.5$

$T^{\circ}$  de ambiente:  $20^{\circ}C$

velocidad de viento:  $1\text{ m/s}$

Y bajo estos parámetros se muestra el TONC en las fichas técnicas. Mientras más bajo sea el TONC mejor es el módulo FV ya que no se calentará y no se perderá potencia por aumento de temperatura.

Para calcular los siguientes parámetros en un momento del día determinado vamos a su ficha técnica del módulo FV y calculamos:

$$T_{cell} = T_{amb} + (TONC - 20) \frac{E}{800}$$

$$I_{SC-T_{cell}} = I_{SC25^{\circ}C} \left( 1 + \frac{\alpha_{\%/^{\circ}C}}{100} (T_{cell} - 25) \right) \frac{E}{1000}$$

$$V_{OC-T_{cell}} = V_{OC25^{\circ}C} \left( 1 + \frac{\beta_{\%/^{\circ}C}}{100} (T_{cell} - 25) \right)$$

$$P_{MPP-T_{cell}} = P_{MPP25^{\circ}C} \left( 1 + \frac{g_{\%/^{\circ}C}}{100} (T_{cell} - 25) \right) \frac{E}{1000}$$

Donde:

$E$ : Irradiancia que dependera del momento del dia y el lugar

$T_{cell}$ : Temperatura de la celula

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente

$I_{SC-T_{cell}}$ : Corriente de corto circuito a la temperatura de la celula

$V_{OC-T_{cell}}$ : Tension de circuito abierto a la temperatura de la celula

$P_{MPP-T_{cell}}$ : Potencia en el punto de maxima potencia a la temperatura de la celula.

$\alpha_{\%/^{\circ}C}$ : Coeficiente de temperatura para la corriente

$\beta_{\%/^{\circ}C}$ : Coeficiente de temperatura para la tensión

$g_{\%/^{\circ}C}$ : Coeficiente de temperatura para la potencia

## 2.25 Asociación de módulos FV

Los módulos FV tanto en serie como en paralelo se necesita que tengan características similares en cuanto a sus especificaciones técnicas para una mejor producción energética de todo el arreglo. Y si tengo diferentes módulos que no tienen parámetros de funcionamiento similares, deberían de tener su propio controlador para que no se produzca una descompensación energética entre un arreglo y otro.

### Asociación en serie

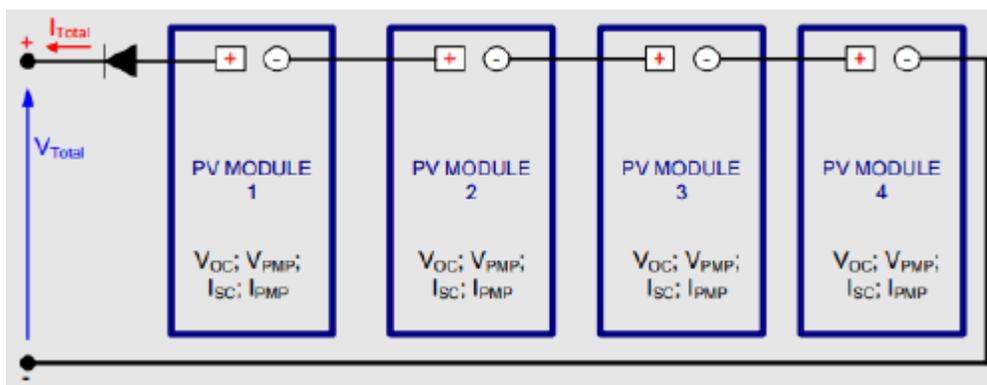
La corriente es pequeña y es igual en todos los módulos, pero la tensión se suma. Aquí la pérdida de la potencia por conducción es menor.

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

**Figura 44**

*Asociación en serie de los Módulos FV*



Nota. Fuente: (Gomez, 2022)

### Asociación en paralelo

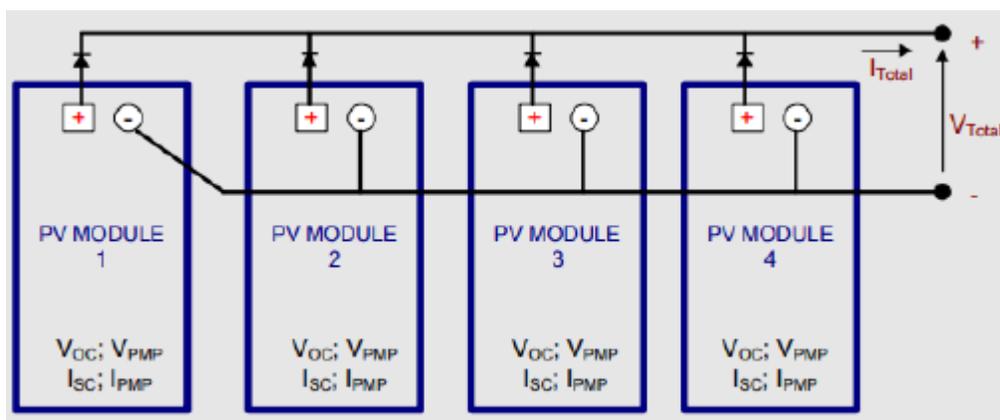
La corriente total será mayor y la tensión se mantendrá. Como la corriente es grande las pérdidas por conducción será mucho mayor que una asociación en serie y también se necesitará el calibre del cable de mayor sección. Aquí se vera la distancia de los conductores para evitar mayor las pérdidas.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = V_4$$

**Figura 45**

*Asociación en paralelo de los Módulos FV*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

## 2.26 Elementos constituyentes

### 2.26.1 Baterías

Se llaman también acumuladores, lo podemos definir como un dispositivo que contiene una o mas celdas electroquímicas que son conectados en serie y su función es transformar la energía química almacenada en energía eléctrica. Cada una de las celdas tiene un electrodo positivo, un electrodo negativo y electrolitos, estos permiten que los iones se muevan entre los electrodos para poder facilitar que fluya la corriente fuera la de batería.

Las baterías se usan para poder almacenar la energía eléctrica que se genera en el sistema FV, con objeto de disponer de ella en periodos en los que no se disponga del recurso suficiente. Sin embargo, también pueden realizar otras funciones por ejemplo para poder estabilizar la tensión y corriente de suministro o sino para inyectar picos de corriente en determinados momentos.

Una batería puede tener 6 celdas y cada celda tiene 2V lo que me hace los 24V. es necesario que las baterías lleguen a su capacidad máximo ya que si no empiezan a sulfatarse.

### **Tipos de baterías**

#### **Según su aplicación**

Carga y descarga lenta: para AGM será de aproximadamente 30% de su capacidad nominal y para GEL será de aproximadamente 20% de su capacidad nominal.

#### **Plomo ácido**

Suministro continuo e intermitente de energía

Descargas moderadas (40% o menos)

Soporta picos de corriente elevados

Tiene coste relativamente bajo

#### **Baterías Líquidas**

Las baterías líquidas son las más disponibles en la actualidad en el mercado. Son las que tienen de la mayor variedad de formas y tamaños por su amplio uso en multitud de industrias y aplicaciones. Las baterías de plomo ácido líquidas emplean placas de plomo, un electrolito de ácido sulfúrico y separadores para las placas resistentes al ácido. Por lo general no están selladas y no se recombinan los gases en su interior, por lo que éstos se expulsan externamente mediante respiraderos al ambiente en el que se encuentre la batería. Algunas características importantes son:

Mas habituales por su relación calidad/precio y prestaciones

Requiere seguridad en el transporte

Riesgo de acumulación de vapores explosivos para ello debe estar en un ambiente bastante ventilado ya que desprenden hidrógeno durante su carga y pueden derramar el ácido si se voltean o manipulan sin cuidado. También tienen la desventaja de no trabajar bien a temperaturas bajo cero y su corta vida, llegando apenas a los 400 ciclos de carga.

Requiere de un mantenimiento periódico como limar los terminales que ya que se sulfatan y echar agua destilada.

### **Baterías reguladas por válvula (VRLA)**

Las baterías VRLA (“Valve Regulated Lead Acid”) o baterías reguladas por válvula son baterías selladas de plomo ácido. Debido a su construcción no requieren ventilación, pudiéndose montar en cualquier orientación. Contienen una tecnología que recombina el oxígeno y el hidrógeno desprendido por las placas durante la carga, por lo que no es necesario hacerles un mantenimiento constante echándoles agua destilada ya que son selladas. Hay dos tipos principales de baterías VRLA, de celdas de GEL y AGM (Absorved Glass Matte).

### **Baterías AGM**

Usan un separador consistente en fibra de vidrio entre la placa y el contenedor para prevenir su derrame por acción capilar. Con la combinación de las placas de plomo, el electrolito y la fibra de vidrio en un espacio cerrado, las baterías AGM crean un vínculo físico gracias a la acción capilar, similar a como el agua trepa por una toalla que se introduce en agua. Esta acción capilar mantiene el líquido dentro del vidrio rugoso, haciendo que no pueda derramarse fuera de las baterías.

El tiempo de vida promedio de esta batería es de 3 a 3.5 años Su costo es económico que una batería de gel, pero es más costosa que una batería líquida. Su estructura es de tipo monoblock.

Estas baterías son ampliamente empleadas en sistemas solares y eólicos, teniendo como ventajas una mejor resistencia en climas fríos que las líquidas, un auto descarga casi despreciable y una alta eficiencia. También tienen baja resistencia interna permitiendo a la batería manejar corrientes altas. Sin embargo, su precio es mayor a las líquidas y son muy vulnerables a descargas profundas.

### **Baterías de GEL**

Son baterías cerradas que usan polvo de sílice para que el ácido sulfúrico se vuelva una sustancia gelatinosa, usándose esta sustancia como electrolito. Estas baterías deben prevenirse de la exposición a altas corrientes, ya que pueden dejar marcas en el interior de la batería creando bolsas que pueden provocar la corrosión de las placas dañándolas seriamente.

Son más resistentes a bajas temperaturas, se ven menos afectadas por descargas profundas y su vida es mayor que la de las baterías líquidas en promedio de 4 a 5 años. Sin embargo, tienen la desventaja de no soportar altas corrientes y de tener un precio mayor que las baterías líquidas y AGM. Su estructura es de tipo monoblock.

### **Baterías de placas tubulares OPzS y OPzV**

Las baterías de placas tubulares son un tipo de baterías que como su nombre indica están compuestas por placas de plomo tubulares formando espigas dentro de unos tubos de material permeable. Son baterías estacionarias ya que son voluminosas y muy pesadas por la cantidad de plomo que llevan en su interior. Su propio nombre nos indica con la O que son estacionarias, con la PZ que son de placa de plomo tubular, mediante la S que el electrolito es líquido y mediante la V que el electrolito está en forma de gel y que la batería es sellada.

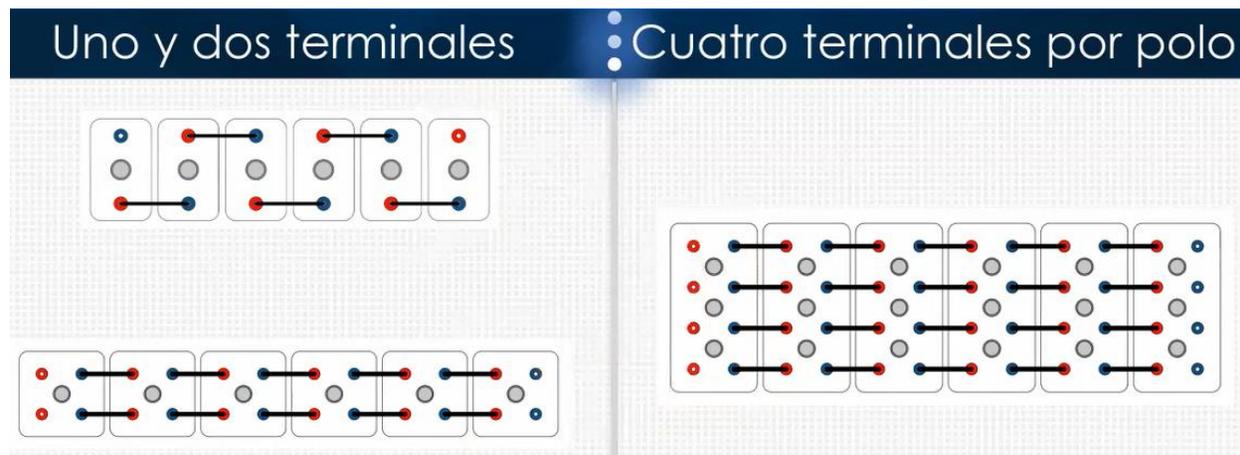
Estas baterías son muy adecuadas para sistemas fotovoltaicos aislados, ya que requieren muy poco mantenimiento (sólo las OPzS requieren rellenar el electrolito una vez cada dos años),

tienen un alto nivel de eficiencia y fiabilidad, y tienen un buen comportamiento incluso en condiciones climatológicas adversas. Con escaso mantenimiento y evitando sobrecargas y sobrecargas pueden llegar a funcionar más de 20 años. Como inconveniente encontramos su alto precio, su gran volumen y peso que complica su transporte. Además, se comercializan en vasos de 2V, por lo que son necesarias entre 6 o 12 vasos para conseguir tensiones nominales en el banco de baterías de 12V o 24V.

Tienen tiempo de vida mayor que el monoblock de acuerdo a su calidad pueden tener de 5 a 9 años de vida. Puede ser desde 300Ah hasta 5000Ah. Los vasos pueden tener un solo polo positivo y negativo por batería, otros 2 bornes por cada polo; ahora si el banco de baterías es más grande de 2000Ah a más puede tener 4 bornes por cada polo.

#### Figura 46

*Terminales de las baterías de placas tubulares OPzS y OPzV*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

#### **Baterías Li-Ion**

Las baterías de Litio tienen como electrolito una sal de litio y este consigue los iones necesarios para que se dé la reacción electroquímica reversible entre el cátodo y ánodo.

Las ventajas de este tipo de baterías es la robustez que tienen en cuanto a las cargas y descargas, su gran densidad de energía (energía por volumen y peso) y el hecho de que no requieren mantenimiento. También tienen a su favor su resistencia a golpes e impactos y la manejabilidad gracias a su reducido tamaño y peso. En su contra juegan la baja capacidad que tienen, su alto precio frente a la cantidad de energía que suministran. Otro problema que es la corta vida que tienen, ya que con un uso normal duran unos cinco años.

Pese a que estas baterías no son aplicables a un SFA por la baja capacidad que ofrecen, si tienen un gran campo de aplicabilidad en sistemas pico fotovoltaicos, que están llamados a sustituir los SFA de pequeña potencia en el futuro. Por otro lado, la empresa Tesla sacó en el año 2015 la Tesla Powerwall, un modelo de batería de litio ionizado especialmente diseñado para SFA. Se espera que esta batería suponga una revolución en la autogeneración fotovoltaica a nivel doméstico ya que se piensa que permitirá a hogares con altos consumos desconectarse completamente de la red.

**Sistemas pico fotovoltaicos:** Es un sistema reducido y a veces portátil, está formado por un módulo FV, batería, controlador y una luminaria.

### **Tensión en baterías**

Tensión por celda hablamos de 2V nominales. Si tengo 12V tendré 6 celdas puede ser una batería monoblock o 6 baterías estacionarias conectadas en serie. Si tengo 24V tendré 2 baterías monoblock en serie de 12 celdas o 12 baterías estacionarias en serie.

Carga inicial (Bulck) por lo general es:  $2.4V/celda$ ; ahora si queremos ver los valores exactos cada ficha técnica de las baterías nos lo dará

$$12V (6 celdas) = 14.4V$$

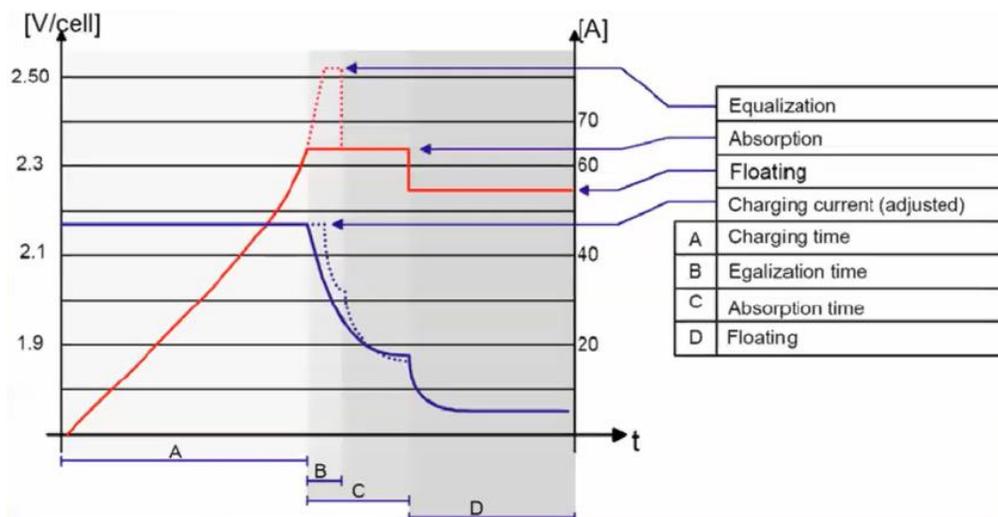
$$24V (12 celdas) = 28.8V$$

$$48V (24 \text{ celdas}) = 57.6V$$

La batería llegara casi hasta un 80% de su capacidad nominal. Luego empezara el proceso de absorción que es un proceso un poco más lento de rellenado.

**Figura 47**

*Carga de la batería de plomo*



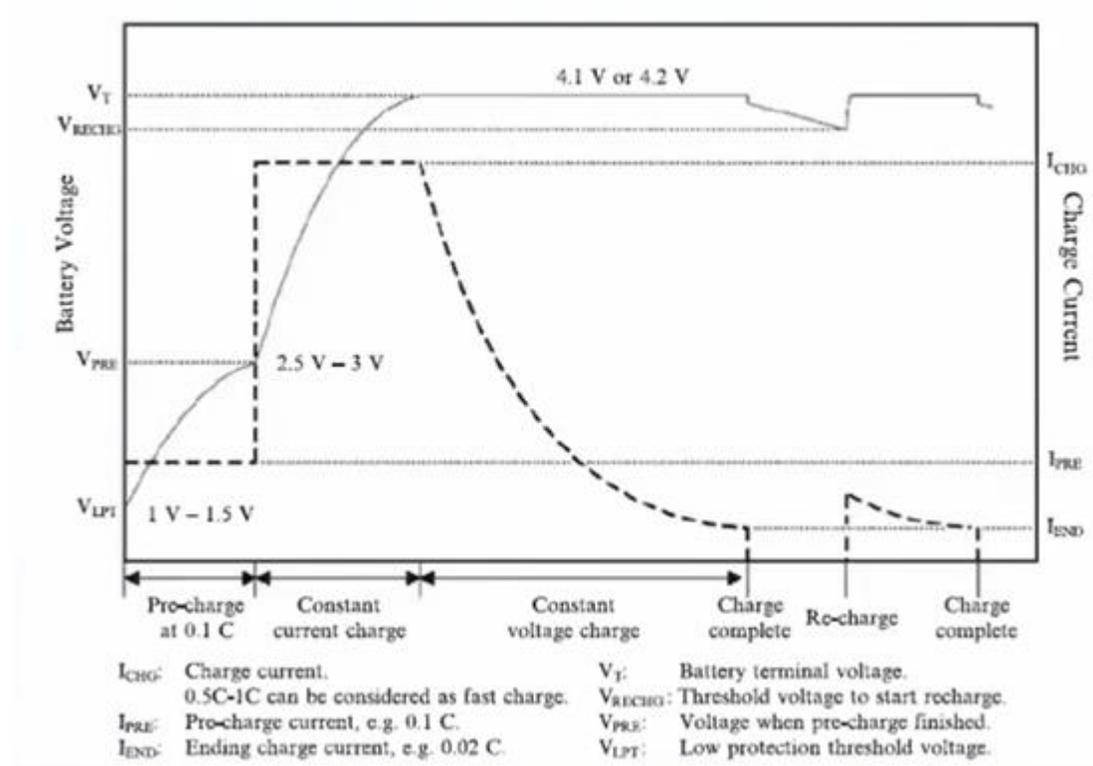
*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

En la figura podemos observar la carga de la batería de plomo tanto para acido abierto, AGM, GEL, y las baterías estacionarias. En el proceso A se muestra la carga inicial desde la tensión (curva roja) a una corriente (línea azul) constante hasta un aproximado de 2.4V/celda, luego viene el proceso B de eualización que solamente es para las baterías de Pb acido abierto donde la tensión sube un poco más hasta 2.6V/celda y la corriente baja, en este proceso se emite gases de hidrogeno que es un proceso de mantenimiento. Para las otras baterías de pb que no son de ácido abierto una vez que llega al proceso C de carga hasta un 80% de su capacidad nominal viene el proceso de absorción donde la tensión se mantiene constante (curva roja) pero la corriente empieza a disminuir poco a poco ( curva azul), una vez que la batería se haya llenado hasta un 100% con el proceso absorción de rellenado viene el proceso D de flotación a 2.2V/celda donde la

tensión disminuye y se mantiene constante a la espera de su uso pero la corriente sigue disminuyendo y consumiendo energía lo cual quiere decir que la batería cuando está llena sigue consumiendo corriente.

**Figura 48**

*Carga de la Batería de Litio*



*Nota.* Fuente: (Gomez, 2022)

En la figura podemos observar la carga de la batería de Litio. Empieza con un proceso de precarga tenemos un nivel de corriente constante y la tensión se va elevando a una tensión de precarga, luego viene el proceso de carga a corriente constante donde la corriente se eleva y se mantiene constante de la misma manera aumenta la tensión; alcanzado el nivel de tensión mayor, empieza el proceso a tensión constante y como la batería ya está regularmente cargada la corriente empieza a descender una vez que la batería está cargada al 100% la corriente es cero, luego viene

el proceso de recarga donde la tensión disminuye y la corriente aumenta se mantiene constante la tensión y la corriente vuelve a disminuir hasta la carga completa.

### Capacidad de las baterías

Según la IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) la capacidad nominal de una batería por ejemplo el C20 (Ah), se define como la cantidad de carga que se puede extraer en 20 horas a una temperatura de 20°C esto se da hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1.8V/vaso.

Se define en Ah (amperios hora) y para calcular la energía de la batería será el producto de la capacidad por la tensión en bornes. La capacidad va a depender de tres factores:

Duración e intensidad de descarga: no es conveniente descarga la batería en menos horas ya que eso afecta mucho su rendimiento.

Temperatura: influye el lugar de trabajo de la batería. Si la temperatura es mayor aumentará ligeramente la capacidad de la batería, ahora si disminuye la temperatura disminuirá su capacidad. Generalmente una batería a su 100% de su capacidad trabajara a 20°C.

Tensión final de corte: normalmente en una batería el fabricante me recomienda una descarga entre 40% hasta 50% como máximo ya que así puedo alargar el tiempo de vida de la batería. Mientras menos Ah descarga más tiempo de vida tendrá la batería.

$$C_{util} = C_N PD_{max}$$

$$PD(\%) = \frac{C_{extraida}}{C_N} (100\%)$$

$$PD(\%) = 1 - SOC(\%)$$

Donde:

$C_{util}$ : capacidad util

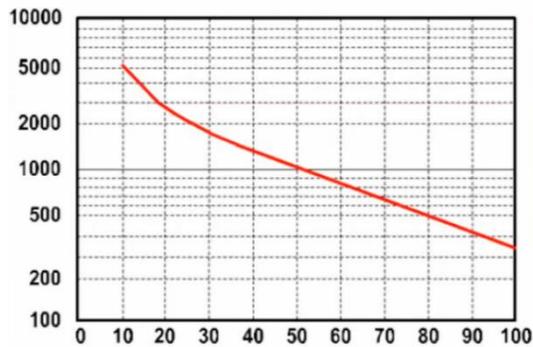
$C_N$ : capacidad nominal

$PD_{max}$ : profundidad de descarga

SOC: estado de descarga

### Figura 49

Nros de ciclos vs el porcentaje de PD de la batería.



Nota. Fuente: (Gomez, 2022)

En la figura podemos observar la gráfica de números de ciclos vs el porcentaje de profundidad de descarga (PD) de la batería. Si la profundidad de descarga aumenta los ciclos de la batería disminuye por lo tanto su tiempo de vida es menor

### Mantenimiento de las baterías

Efectuar periódicamente el relleno de agua destilada especialmente baterías de pb acido abierto

Mantener la batería limpia

Evitar descargas mayores al 80% de la capacidad nominal

No sobrecargar

Mantener la temperatura controlada (ambiente)

### Precauciones

Consideraciones contra la corrosión debido al contacto con el ácido sulfúrico

Riesgo de explosión por corriente elevada en caso de corto circuito.

Se recomienda separación física entre los demás componentes y las baterías ya que generan hidrogeno al cargarse. Deben estar en lugares ventilados.

### **2.26.2 Controladores**

Los controladores de carga son dispositivos incluidos en la mayoría de sistemas fotovoltaicos autónomos SFA. Esto con el objetivo de generar condiciones apropiadas de requerimientos de operación de la batería y así protegerla de carga o descarga excesiva, aumentando la vida útil del banco de batería. Los controladores son componentes críticos en SFA puesto que los daños sobre las baterías pueden ser irreversibles.

La elección de controlador solar dependerá de cinco cosas:

**Voltaje del sistema:** Es el voltaje al cual se conecta la carga, generalmente son múltiplos de 12 Voltios ya que la mayor parte de baterías entregan ese voltaje. Los cargadores suelen trabajar a 12, 24 o 36 Voltios de corriente continua.

Tensión máxima de carga: 2.4V/celda

Tensión de flotación: 2.2V/celda

Tensión de desconexión de consumo: 1.8V/celda.

Tensión de rearme de consumos

Intensidad máxima de corriente de carga.

El tipo de baterías que está utilizando (especialmente importante si está planeando usar baterías de litio).

La corriente del arreglo de paneles solares (medida en amperios).

Todos menos los controladores solares más baratos proporcionan información básica en una pantalla LCD. Permite ver cuánta potencia ha generado en comparación con cuánta energía está utilizando y también puede mostrar la carga actual almacenada en la batería. Algunos

controladores solares incluyen información más detallada que permite comparar la generación y uso de energía.

### **Prestaciones**

Regulación del proceso de carga de la batería en las diversas etapas (bulck, flotación, absorción)

Desconexión de consumo por baja tensión con rearme automático.

Protección contra corto circuitos en la línea de consumos son rearme automático

Alarma por baja tensión de baterías con rearme automático

Alarma por alta tensión de baterías con rearme automático

Selección de la capacidad y tipo de batería instalada.

Cálculo de las tensiones de flotación en función al SOC (estado de carga) registrado en los últimos días para evitar el deterioro de la batería.

Protecciones contra sobretensiones inducidas en el campo fotovoltaico, que es el grado 3

### **Tipos de controladores de carga**

Hay tres tipos diferentes de controladores de carga solar, que son:

**a) Controles simples de 1 o 2 etapas:** Tiene transistores de derivación para controlar el voltaje en uno o dos pasos. Básicamente, este controlador corta el panel solar cuando se llega a un cierto voltaje. Su principal ventaja es su sencillez y su solides es tan simple que es muy difícil que se averíe. Es el tipo de controlador más antiguo y más económico además de ser muy sencillo de fabricar.

**b) PWM (Pulse Width Modulated o Modulación por Ancho de pulso):** Los controladores de carga más modernos utilizan la Modulación de ancho de pulso (PWM) para disminuir lentamente la cantidad de energía aplicada a las baterías a medida que las baterías se

acercan cada vez más a una carga completa. Este tipo de controlador permite que las baterías se carguen más completamente con menos tensión en la batería, lo que prolonga la vida útil de la batería. También puede mantener las baterías en un estado completamente cargado (llamado "flotante") por tiempo indefinido. Este tipo de controladores es más complejo, aunque relativamente económico.

Tensiones de operaciones

Para 12V nominales:  $V_{PMP}=17V$  aproximadamente en STC

Para 24V nominales:  $V_{PMP}=34V$  aproximadamente en STC

Para 48V nominales:  $V_{PMP}=68V$  aproximadamente en STC

Un panel de 60 celdas no se recomienda su instalación con un controlador de PWM ya que se tiene muchas pérdidas, generalmente su instalación esta con un controlador MPPT

**c)Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT):** el controlador de carga solar MPPT es el mejor de los sistemas solares actuales. Estos controladores realmente identifican el mejor voltaje de trabajo y el amperaje del arreglo de paneles solares al seguir el punto de mayor potencia para cada condición dada.

$$P_{ingreso} = V_{PMP} \cdot I_{PMP} \approx V_{bat} I_{bat} = P_{salida}$$

$$P_{ingreso} \approx P_{salida}$$

<b>DEFERENCIA ENTRE UN PWM Y MPPT</b>	
<b>PWM</b>	<b>MPPT</b>
Tensiones del campo fotovoltaicos limitadas; normalmente un PWM de 12/24V son de 50V	Amplio rango de tensiones FV de trabajo, normalmente encima de los 100V.
Carga con pulso de corriente (todo o nada), ejemplo de flotación	La carga de corriente es constante porque es un convertidor

<p>No es aplicable a todos los módulos FV, por ejemplo, en los módulos FV de 60 celdas.</p> <p>Trabaja con elevadas corrientes (el conductor será de mayor sección) por lo tanto aumenta las pérdidas de potencia por conducción.</p> <p>Menor costo que un MPPT</p>	<p>Aplicable a todos los módulos FV</p> <p>Tensión máxima</p> <p>Mínima tensión de funcionamiento</p> <p>Trabaja con bajas corrientes (el conductor será de menor sección) por lo tanto disminuye las pérdidas de potencia por conducción.</p> <p>Costo aproximado 4-5 veces que un PWM.</p>
--	--

### 2.26.3 Inversores

Son convertidores de DC/AC. La energía de corriente continua puede ser de fuente de banco de baterías, panel fotovoltaico, etc. La tensión en corriente alterna de salida debe tener condiciones de amplitud, frecuencia y respuesta en armónicos adecuado para las cargas a conectarse a la salida del inversor. Hablando de los inversores conectados a red, estos deben estar sincronizados con la tensión de la red para su buena conexión y funcionamiento. La vida útil del inversor dependerá de la calidad, de la instalación y su utilización. Un inversor de buena calidad tendrá una vida útil de 5 a 7 años.

#### Generalidades

- Tensiones y frecuencias específicas
- Variedad de tensión DC en banco de baterías (12V, 24V, 48V, etc)
- Conexión directa sobre los bornes del acumulador (nunca se deberá conectar a la salida DC del controlador)
- Expansión de potencia (monofásicas-trifásicas)

## Características

- Forma de onda a la salida del inversor: senoidal, cuadrada, modificada, lo recomendable es usar un inversor que tenga una onda senoidal pura.
- Tensión máxima y mínima a la entrada DC
- Tensión máxima y mínima a la salida AC ( $220V \pm 5\%$ ). Si el tendido es demasiado largo, se recomienda que la tensión a la salida del inversor sea mayor debido a la caída de tensión que existe en los puntos de consumo.
- Potencia AC a la salida de acuerdo al tamaño del inversor.
- Transitoria: me indica el pico de consumo de alrededor 2,3,5 segundos
- Corrientes máximas a la entrada y en la salida
- Protección contra descarga excesiva de batería
- Distorsión armónica total (THD) de la onda de salida: me ayuda a cuidar el cableado ya que si hay muchos armónicos debido al incremento de picos de voltaje que podría perforarse el aislamiento de los cables.
- Ahorro de energía: cuando tenemos un inversor suministrando energía en un régimen normal requerirá una energía determinada en forma de pequeños pulsos llamado periodo de búsqueda, pero será mínima y cuando encuentre una carga recién se activará la onda pura senoidal. De esta forma el inversor me ahorrará energía.

## Consideraciones

- Factor de simultaneidad: la cantidad de equipos y horas que se tendrá en la instalación.
- Picos de arranque (200% de Potencia nominal), por lo general será el doble.

- Protección contra cortocircuitos momentáneos o constantes
- Protección de sobretensiones inducidas, por ejemplos en zonas cercanas a tormentas eléctricas
- Interferencias electromagnéticas externas
- Protección contra elevada tensión en acumuladores
- Factor de sobredimensionamiento (30%)
- Corriente máxima en salida de AC
- Corriente máxima en entrada de DC
- Cercanía al banco de baterías, para evitar las pérdidas en el paso de corriente.
- Derrateo por altitud sobre el nivel del mar para proteger al inversor.

### **Tipos de inversores**

#### **Modo inversor y cargador**

La función de cargador lo realizar de la red eléctrica hacia las baterías controlando su carga. La función de inversor lo hará convirtiendo la corriente DC a corriente AC hacia las cargas controlando la energía de extracción de las baterías. En algunos casos la batería llevara un sensor de temperatura para la carga y descarga.

#### **Características**

- Tensión máxima y mínima en la entrada de DC
- Tensión máxima y mínima en los terminales de AC
- Potencia AC generada en la salida (potencia mantenida, sobrecargas de corta y larga duración)
- Corrientes máximas en los terminales de AC y DC lo que nos dará el calibre del conductor.

- Protección contra descarga excesiva de descarga de las baterías
- Factor de potencia a la salida de AC para el arranque de equipos que necesiten potencia reactiva
- Gestión de estado de carga de la batería e identificación del tipo de batería con lo que va a trabajar.

### **Modo inversor, cargador y controlador**

Es un equipo 3 en 1. El cargador de baterías podrá utilizar la energía de la red eléctrica o de un grupo electrógeno. El inversor será de DC a AC de la batería hacia las cargas y el controlador trabajará desde el campo fotovoltaico.

### **CAPÍTULO III: PLIEGO DE CONDICIONES**

En nuestro país existe diversas normas y decretos supremos que regulan y fomentan el estudio, instalaciones, utilización y evaluación de las energías renovables.

Decreto legislativo 1002, permite la promoción de inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables; Dicho marco legal promueve e impulsa el uso de energías renovables para la generación de electricidad, cambiando la alternativa del uso de derivados del petróleo y gas natural, a causa, que son elementos que originan gran cantidad de contaminantes y asimismo no son renovables.

R.M.N° 013-2003-EM/DM. Norma Técnica de Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución.

El Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es la autoridad nacional en la promoción del manejo de RER, asimismo los gobiernos regionales a nivel nacional promoverán la inversión de la tecnología dentro de su territorio.

El Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables- Decreto Supremo N° 024-2013-EM; Define el proceso de adjudicación para la generación de energías relacionados con RER, dicho decreto esta orientado al proceso de adjudicación entre OSINERGMIN y sociedad concesionario. (Ministerio de Energía y Minas, 2013).

En el caso del Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de evaluación del sistema Fotovoltaico y sus componentes para Electrificación Rural con resolución Directoral N°003-2007-EM-DGE ; Documento que promueve las instalaciones fotovoltaicas en lugares apartados del Perú , por lo tanto , se detalla los requisitos, características y las diversas condiciones de operación de los componentes de un sistema fotovoltaico como lo siguiente ; controlador de carga , módulo de paneles, baterías, inversor y luminarias .

Decreto Supremo N° 064-2010-EM- Política Energética Nacional del Perú 2010-2040; Se rige en establecer un sistema de energía que busque en abastecer la demanda a nivel nacional de una manera que brinde y genere confianza en el tiempo, fomentando un desarrollo sostenible en el ambiente, motivando la investigación en nuevas tecnologías para su próxima aplicación. (Ministerio de Energías y Minas, 2010).

Las diversas normativas son realizadas y reguladas por instituciones tal como el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Comité de operaciones Económica del Sistema (COES), Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería y como último es el Instituto de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI).

## CAPITULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 4.1 Localización del estudio

La plaza las Américas nuestro lugar de estudio está en el distrito de Cerro Colorado de la provincia de Arequipa, en el departamento de Arequipa, durante todo el año tiene altos índices de radiación como también fuertes vientos y cielo despejado; estas ventajas son favorables para nuestro presente estudio de la implementación de iluminación artificial mediante paneles solares FV.

#### Ubicación

La plaza las Américas está ubicada en:

Región : Arequipa

Provincia : Arequipa

Distrito : Cerro Colorado

Sector : La Libertad

#### Figura 50

*Ubicación de la Plaza las Américas.*



*Nota.* Fuente: (Google Maps, 2022)

### Ubicación en coordenadas geográficas

El núcleo del proyecto presenta las siguientes coordenadas UTM:

- Altitud : 2405 m.s.n.m.
- UTM Coordenada X : 226501.1564 E
- UTM Coordenada Y : 8187674.5398 N

Según coordenadas Datum WGS84.

### Vías de Acceso

**Figura 51**

*Vía de acceso a la Plaza las Américas*



*Nota.* Fuente: (Google Maps, 2022)

La implementación del sistema fotovoltaico se realizará a un lado de la Plaza Las Américas con dirección al norte, frente a la calle Miguel Grau, tendrá un área de 42.65m<sup>2</sup>. En la figura 52 podemos observar el área que ocupara el proyecto.

**Figura 52**

*Ubicación del proyecto del sistema fotovoltaico*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

**4.2 Inclinación óptima de los paneles.**

Para poder determinar el ángulo de inclinación de un módulo FV vamos a utilizar una expresión que está basada en análisis estadísticos de radiación solar anual para diferentes latitudes. (Pérez Zulueta, 2019)

La latitud en nuestro lugar de estudio es de  $-16.3767513$ . Vamos a reemplazar en la siguiente expresión.

$$\beta_{optimo} = 3.7 + 0.69|\phi|$$

Donde;  $\beta_{optimo}$  es el ángulo de inclinación óptima en grados y  $|\Phi|$  es la latitud del lugar en grados.

Reemplazando:

$$\beta_{optimo} = 3.7 + 0.69|-16.3767513|$$

$$\beta_{optimo} = 14.9999$$

De la ecuación anterior se tiene como ángulo de inclinación  $14.99^\circ$ , por lo tanto; ingresamos los siguientes datos en el software PVWatts para calcular las horas de sol pico HSP aquí en la localidad de Arequipa.

Latitud:  $-16.3767513^\circ$

Longitud:  $-71.5603297^\circ$

Inclinación (grados):  $14.99^\circ$

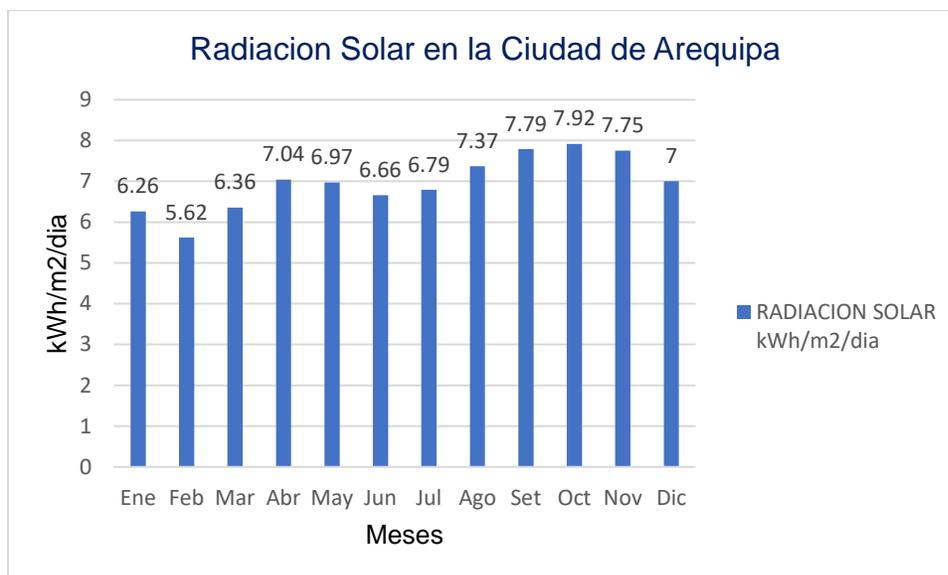
Acimut:  $0^\circ$

El software PVWatts toma como referencia el Norte como  $0^\circ$  para determinar el ángulo del Acimut.

Para campos fotovoltaicos fijos, el ángulo de acimut es el ángulo en sentido horario con respecto del norte verdadero que describe la dirección a la que está orientado el campo. Un ángulo de acimut de  $180^\circ$  es para campos orientados hacia el sur, y un ángulo de  $0^\circ$  es para campos orientados hacia el norte. (National Renewable Energy Laboratory).

**Figura 53**

*Radiación Solar en la ciudad de Arequipa para una inclinación de 15°*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

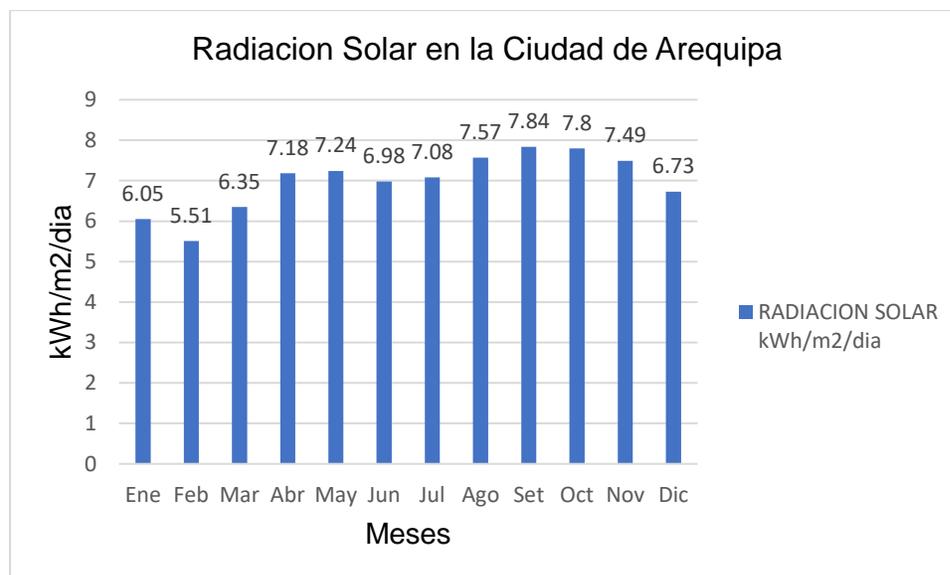
En la gráfica se obtiene un promedio anual HSP de 6.96kWh/m2/día.

Para el dimensionamiento se quiere uniformizar las horas de sol pico HSP a lo largo del año para ello a partir del ángulo de inclinación 14.99° hacemos la variación en forma ascendente hasta llegar a una uniformización para la mayor producción de la energía fotovoltaica a lo largo del año.

De los resultados obtenidos se llega a la inclinación más óptima de 20°. Se muestran en la siguiente grafica.

**Figura 54**

*Radiación Solar en la ciudad de Arequipa para una inclinación de 20°*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica podemos observar un mayor promedio anual HSP de 6.99kWh/m<sup>2</sup>/día. Con el menor valor de 5.51kWh/m<sup>2</sup>/día realizaremos el dimensionamiento de nuestro sistema fotovoltaico.

### 4.3 Cuadro de cargas con iluminación convencional

Actualmente la plaza las Américas cuenta con las luminarias convencionales y es por ello que se realizó un cuadro de cargas del estado actual que se presenta a continuación.

**Tabla 4**

*Cuadro de cargas con iluminación convencional de la plaza las Américas*

CARGAS	NRO LUMINARIAS	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)
Poste 03 Cabezas Halógenas (400W)	12	400	4800

Postes 02 Cabezas Halógenas (400W)	8	400	3200
Farolas Incandescentes (150 W)	92	150	13800
Reflector Halógeno (1500W)	6	1500	9000
Cabezal Esférico de Halogenuro (250W)	16	250	4000
<b>TOTAL</b>			<b>34800</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

La potencia total del consumo de las luminarias convencionales es de 34800W lo que muestra un mayor consumo de la energía eléctrica y por lo tanto un mayor costo en el recibo mensual por parte de la municipalidad distrital de cerro colorado hacia la Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. (SEAL).

#### **4.4 Dimensionamiento y cálculo de iluminación.**

Para nuestro estudio de iluminación de la Plaza las Américas del Distrito de Cerro Colorado mediante la energía FV, el consumo de la energía eléctrica de las luminarias será constante, por lo tanto, debemos realizar un estudio lumínico para seleccionar las luminarias de alta eficiencia y bajo consumo de energía eléctrica, su funcionamiento va a depender del sistema fotovoltaico seleccionado.

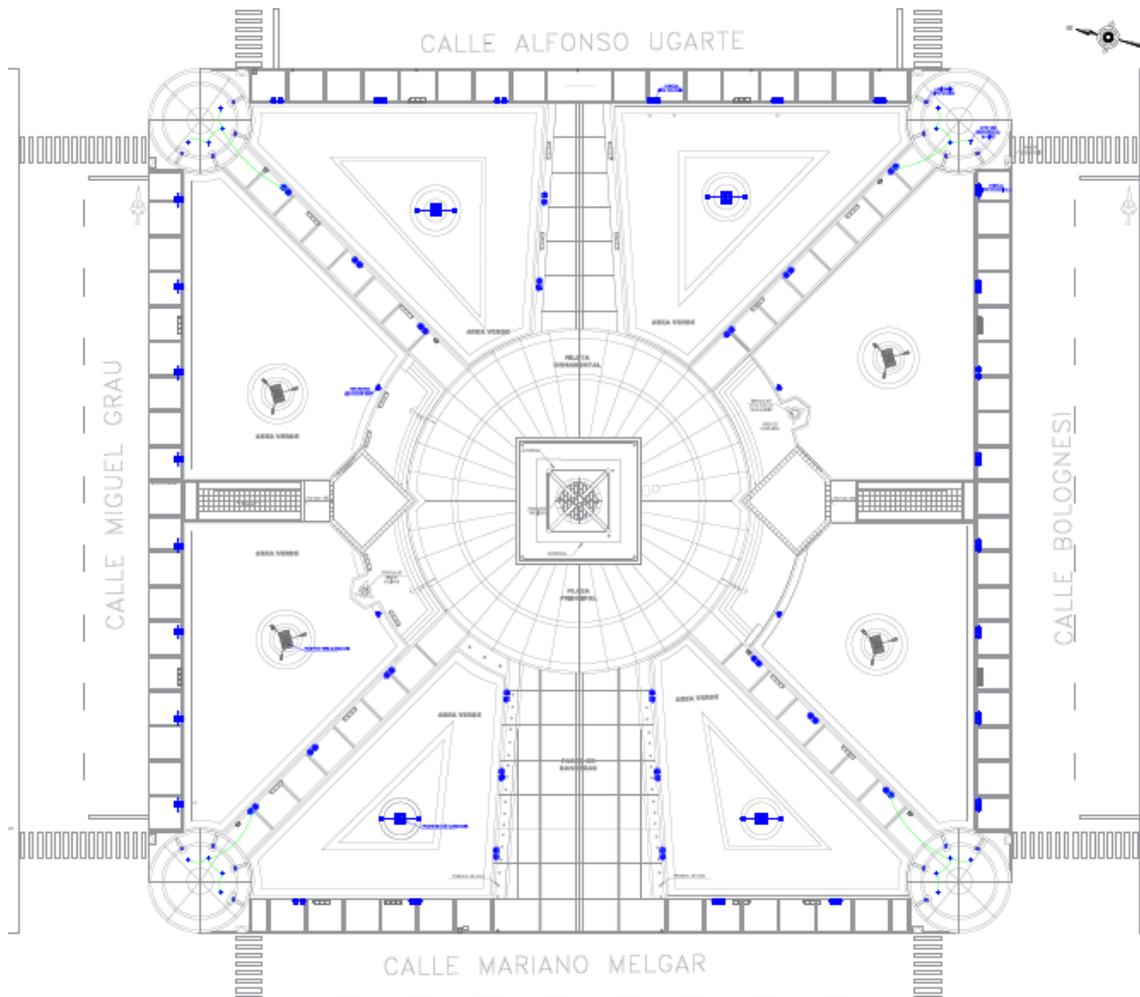
Para el estudio de la iluminación mediante paneles solares fotovoltaicos, nos vamos a basar a la norma de alumbrado público R.M N° 013-2003-EM-DM. Esta norma nos habla del nivel de iluminación de cada tipo de alumbrado y vía, esto va a depender de la intensidad del tráfico, tránsito de peatones y velocidad de los vehículos. Para nuestro presente estudio según la norma ya mencionada vamos a elegir un alumbrado de tipo III.

## Plano de la Plaza a iluminar

Para poder realizar el dimensionamiento de nuestro sistema de iluminación tenemos que conocer la ubicación del lugar de estudio que es en la plaza las Américas en el pueblo tradicional la libertad distrito de Cerro Colorado. El plano se detalla a continuación.

### Figura 55

*Plano de la plaza a iluminar*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Actualmente las luminarias instaladas se encuentran conectada a la red lo que implica el consumo de energía eléctrica. Las luminarias existentes en la Plaza las Américas se muestran en las figuras 56, 57, 58, 59 y 60. Farolas incandescentes de 150W estilo colonial, postes con

luminarias halógenas 400W, Reflectores halógenos de 1500W y foco esférico de halogenuro 250W, Las luminarias operan desde las 18:00 horas a las 5:00 horas de siguiente día.

### Figura 56

*Estado actual de postes de tres cabezas*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

### Figura 57

*Estado actual de postes de dos cabezas*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

### **Figura 58**

*Estado actual de farolas tipo colonial*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

### **Figura 59**

*Estado actual de los reflectores*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

**Figura 60**

*Estado actual de luminarias esféricas*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Según la Norma técnica DGE (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2002) "Alumbrado de vías públicas en zonas de Concesión de Distribución". Indica que dentro de parques, plazas y plazuelas el concesionario tiene la obligación de instalar las luminarias a razón de  $0,13 \text{ W/m}^2$  como mínimo.

De acuerdo a la norma todo parque, plaza y plazuela son de carácter no privado, es decir, cualquier persona tiene acceso las 24 horas del día. Podría tenerse una excepción que por razones de seguridad y conservación de dichos lugares se prohíba su ingreso a través de un mecanismo de seguridad en un momento determinado del día. No comprende campos deportivos (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2002).

#### **4.5 Sistema fotovoltaico en la Plaza las Américas**

Para establecer la viabilidad del uso de la energía solar en el sistema de iluminación con tecnología LED en la plaza las Américas del Distrito de Cerro Colorado, se realizó la recolección de los datos de las luminarias que actualmente están funcionando con la energía convencional.

Para ello se realizó un nuevo cuadro de cargas de las luminarias con tecnología LED; también se realizó el estudio del espacio a iluminar, la potencia de carga instalada considerando los parámetros de presión, temperatura, humedad y ubicación, además de realizar los cálculos de la selección de cada componente del sistema fotovoltaico, todo esto se realizará con el fin de establecer los parámetros fotométricos de la iluminación del sistema fotovoltaico.

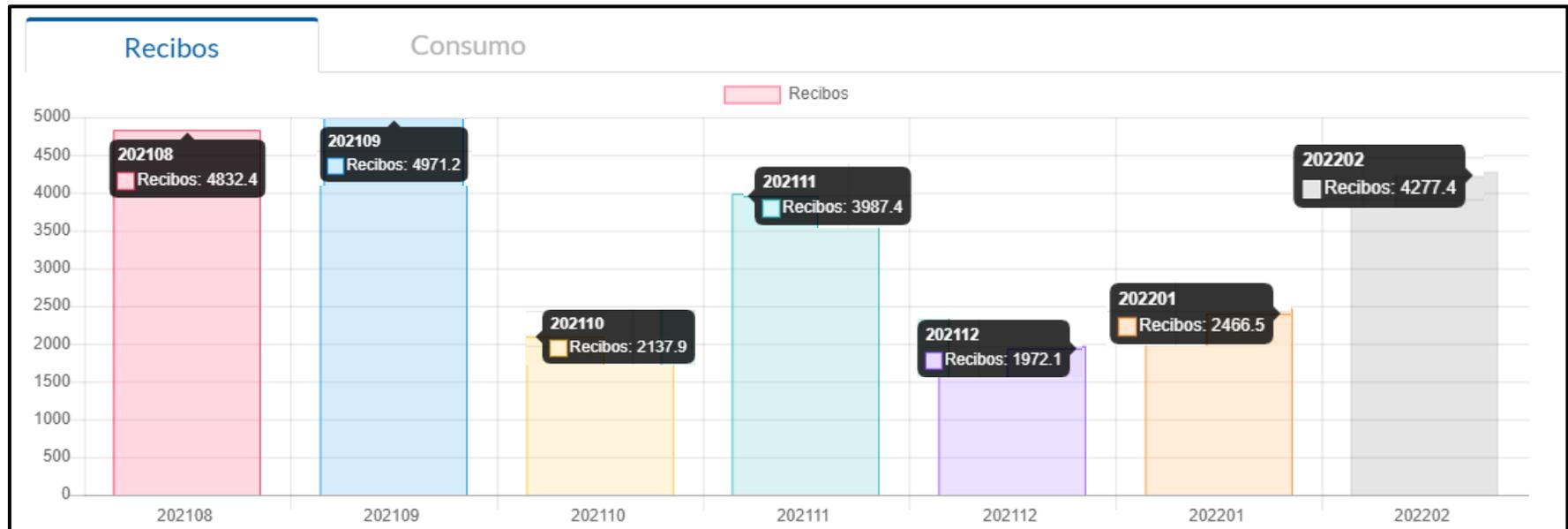
A continuación, se presentan todos los cálculos del diseño de nuestro sistema fotovoltaico.

#### 4.6 Suministro de detalle de la plaza las Américas

A continuación, se presenta los datos estadísticos de los últimos 7 meses los montos de los recibos mensuales de los consumos de la iluminación de la Plaza las Américas por parte de la municipalidad distrital de cerro colorado hacia la Sociedad Eléctrica de Arequipa (SEAL).

**Figura 61**

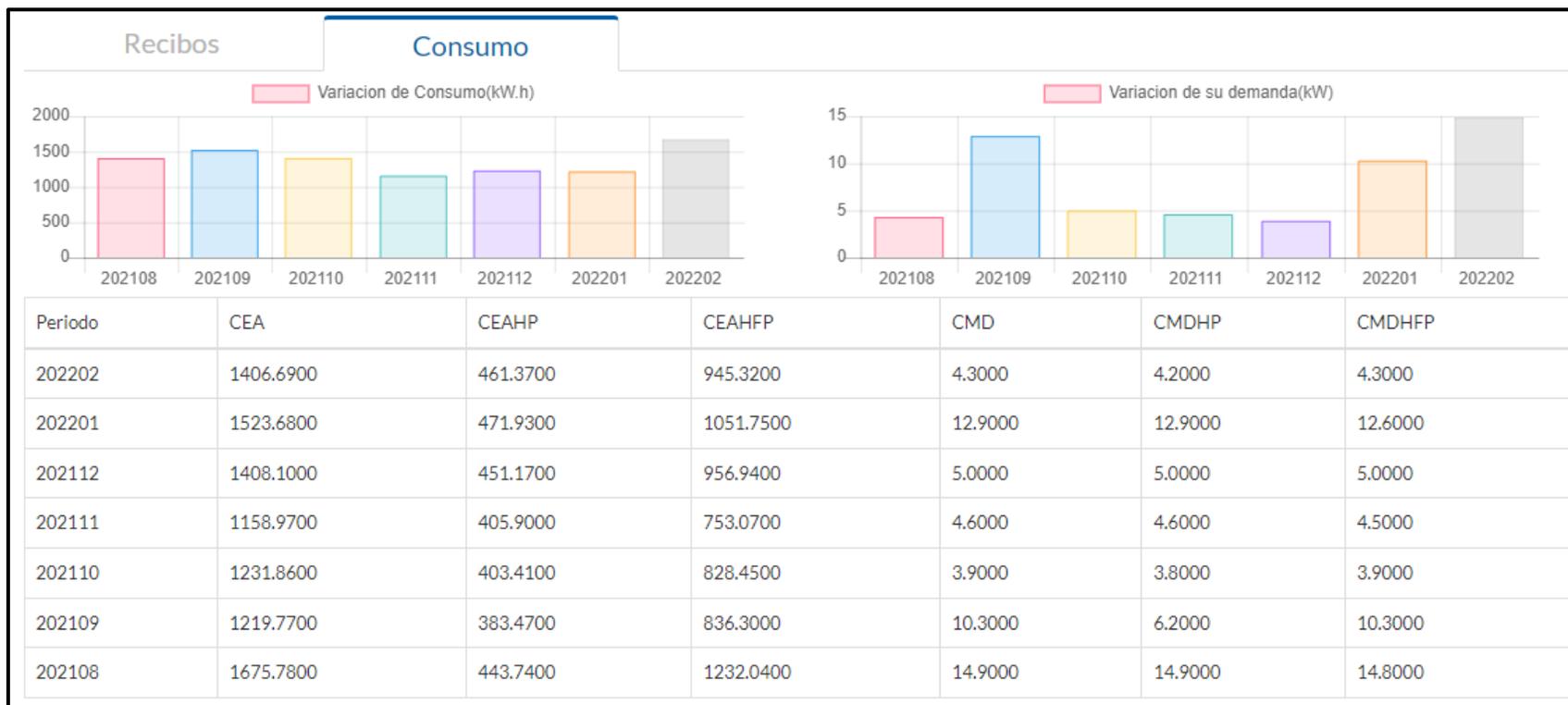
*Historial de recibos de los últimos 7 meses*



Nota. Fuente: (SEAL, 2022)

**Figura 62**

*Historial de consumo de los últimos 7 meses*



*Nota. Fuente: (SEAL, 2022)*

#### 4.7 Análisis lumínico de la Plaza las Américas

Para calcular el análisis lumínico de la plaza las Américas se utilizó el software DIALux donde se obtuvo como resultado los cálculos luminotécnicos de las luminarias como es la potencia de cada luminaria, el flujo luminoso total, el rendimiento lumínico total y la iluminancia media (lux) en los planos sectorizados de cada área.

##### Información técnica de las luminarias

A partir del análisis lumínico se proponen las siguientes especificaciones técnicas de las luminarias con tecnología LED para la plaza las Américas en el distrito de cerro colorado.

##### Reflector

De acuerdo al plano se proponen 4 reflectores en postes de 5 metros para la iluminación central de la plaza

##### Tabla 5

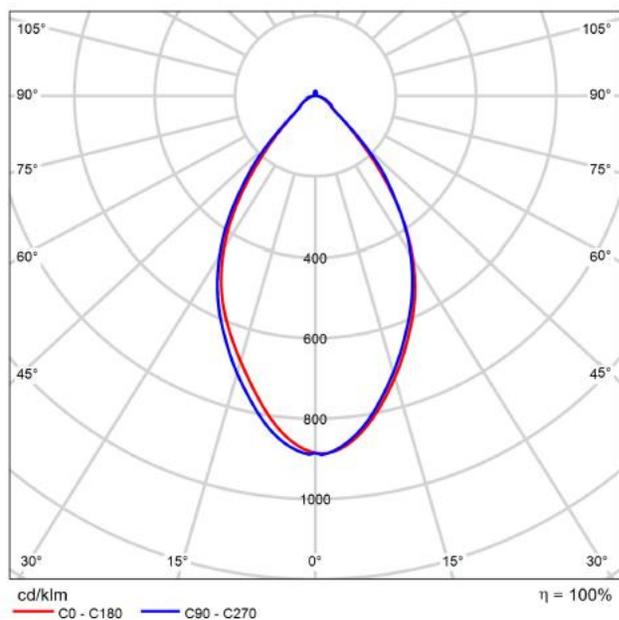
Datos de la luminaria de 100W para el reflector

<i>Nº DE ARTICULO</i>	<b>IZUMI LED YTR193645</b>
<i>P</i>	100.0 W
<i><math>\phi_{l\underline{a}m\underline{p}a\underline{r}a}</math></i>	13382 lm
<i><math>\phi_{l\underline{u}m\underline{i}n\underline{a}r\underline{i}a}</math></i>	13381 lm
<i><math>\eta</math></i>	100.00 %
<i>Rendimiento Luminico</i>	133.8 lm/W
<i>CCT</i>	5700 K
<i>CRI</i>	80

Nota. Fuente: (DIALux, 2022)

**Figura 63**

*Fotometría de la luminaria de 100W para el reflector*



CDL polar

*Nota.* Fuente: (DIALux, 2022)

**Poste de dos y tres Cabezas**

De acuerdo al plano de proponen 12 luminarias en postes de tres cabezas y 8 luminarias en postes de dos cabezas.

Las luminarias de tecnología LED reemplazan las convencionales y se ubicaran en el mismo lugar de las luminarias empleadas actualmente, a la misma altura correspondiente de 6 metros sobre el suelo.

**Tabla 6**

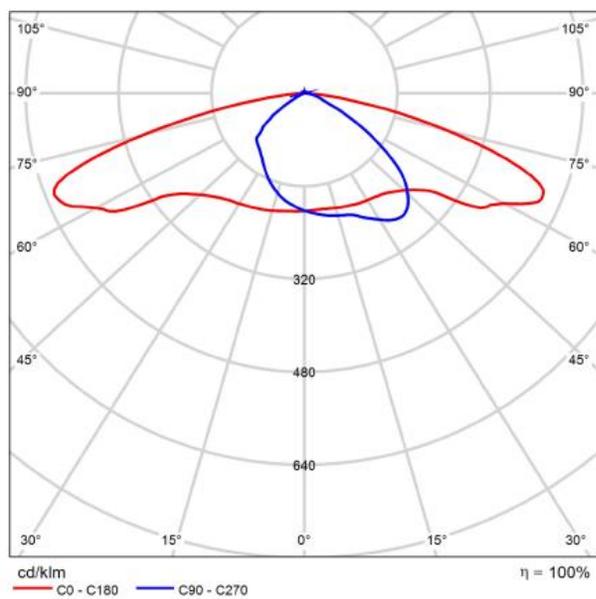
*Datos de la luminaria de 30W para postes de dos y tres cabezas*

<b>Nº DE ARTICULO</b>	<b>IZUMI LED YTR213220</b>
<i>P</i>	30.0 W
$\phi_{l\underline{a}m\underline{p}a\underline{r}a}$	4733 lm
$\phi_{l\underline{u}m\underline{i}n\underline{a}r\underline{i}a}$	4733 lm
$\eta$	100.00 %
<i>Rendimiento Luminico</i>	157.8 lm/W
<i>CCT</i>	5700 K
<i>CRI</i>	80

*Nota.* Fuente: (DIALux, 2022)

**Figura 64**

*Fotometría de la luminaria de 30W para postes de dos y tres cabezas*



CDL polar

*Nota.* Fuente: (DIALux, 2022)

### Postes de una cabeza

De acuerdo al plano de proponen 46 luminarias en postes de una cabeza con tecnología LED que reemplazan las convencionales y se ubicaran en el mismo lugar de las luminarias empleadas actualmente. Para las Farolas actualmente presentes se reemplazarán con postes de una sola cabeza de acuerdo al estudio lumínico realizado, dichos postes estarán a estarán a una altura de 3m sobre el suelo.

#### Tabla 7

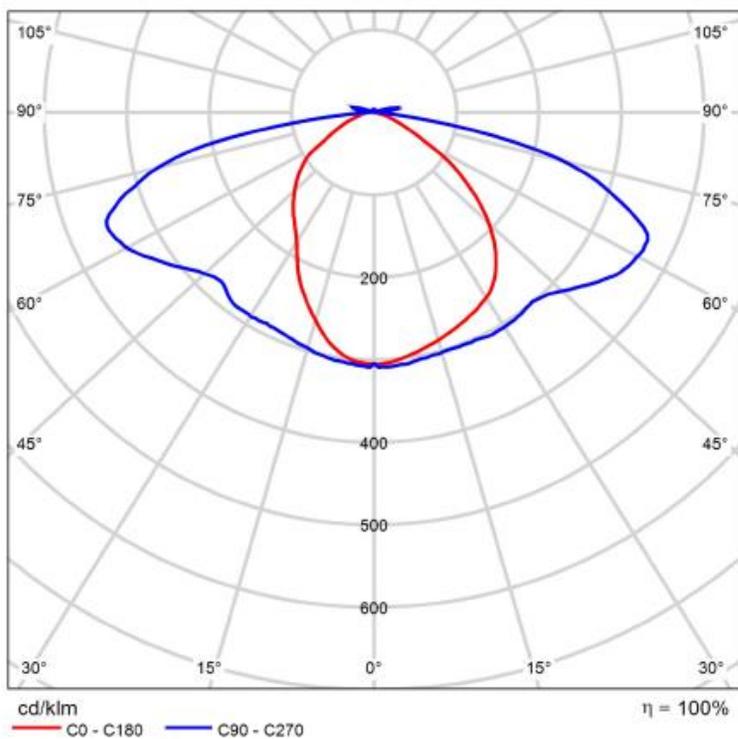
*Datos de la luminaria de 30W para postes de una cabeza*

<b>Nº DE ARTICULO</b>	<b>IZUMI LED YTR213220</b>
<i>P</i>	30.0 W
$\phi_{l\grave{a}mpara}$	4068 lm
$\phi_{luminaria}$	4068 lm
$\eta$	100.00 %
<i>Rendimiento Luminico</i>	135.6 lm/W
<i>CCT</i>	5700 K
<i>CRI</i>	80

*Nota.* Fuente: (DIALux, 2022)

**Figura 65**

*Fotometría de la luminaria de 30W para postes de una cabeza*

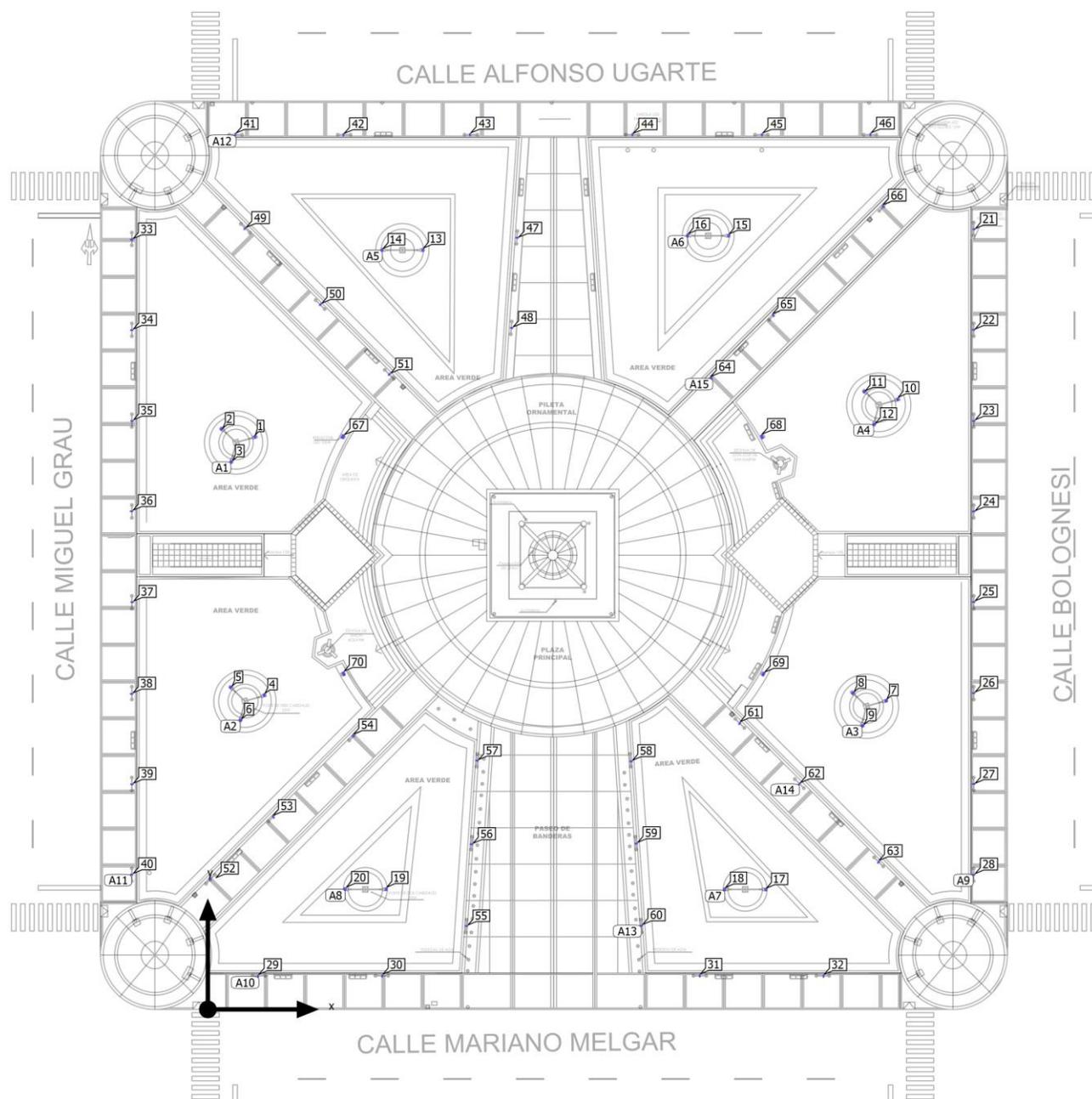


CDL polar

*Nota.* Fuente: (DIALux, 2022)

**Figura 66**

*Plano de situación de las luminarias*



*Nota.* Fuente: (DIALux, 2022)

En los Anexos se detallan los resultados de la distribución de las luminarias de acuerdo al estudio en el DIALux, su ubicación en coordenadas con sus especificaciones técnicas.

**Tabla 8***Resultados del estudio lumínico*

<b>NOMBRE DEL ARTICULO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>P (W)/UND</b>	<b><math>\Phi</math> (lm)/UND</b>	<b>P (W) TOTAL</b>	<b><math>\Phi</math> (lm) TOTAL</b>	<b>Rendimiento lumínico (lm/W) /UND</b>
Reflector	4	100	13381	400	53524	133.8
Poste de 03 Cabezas	12	30	4733	360	56796	157.8
Poste de 02 Cabezas	8	30	4733	240	37864	157.8
Poste de 01 Cabeza	46	30	4068	1380	187128	135.6
				<b><math>\Phi_{total}</math></b>	335312	lm
				<b><math>P_{total}</math></b>	2380	W
				<b>Rendimiento lumínico</b>	146.25	lm/W

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

#### **4.8 Dimensionamiento**

Como ya hemos estudiado la teoría del sistema fotovoltaico y sus parámetros de diseño, ahora vamos a dimensionar los equipos y dispositivos realizando los cálculos necesarios de cada parte del sistema FV.

Para poder seleccionar y dimensionar los equipos y dispositivos hay que tener en cuenta la calidad de los materiales, el tiempo de vida, la seguridad del sistema instalado y el costo de todo el sistema instalado.

#### **4.9 Radiación solar promedio mensual.**

Para dimensionar nuestro sistema fotovoltaico vamos a utilizar el mes más desfavorable que corresponde a de febrero, una irradiación de 5.51 kWh/m<sup>2</sup>/día para un ángulo de inclinación de 20°.

**Localidad:** Plaza las Américas-Distrito de Cerro Colorado-Arequipa

**Nivel de tensión:** 380V

**Tipo de suministro:** Trifásico

**Tabla 9**

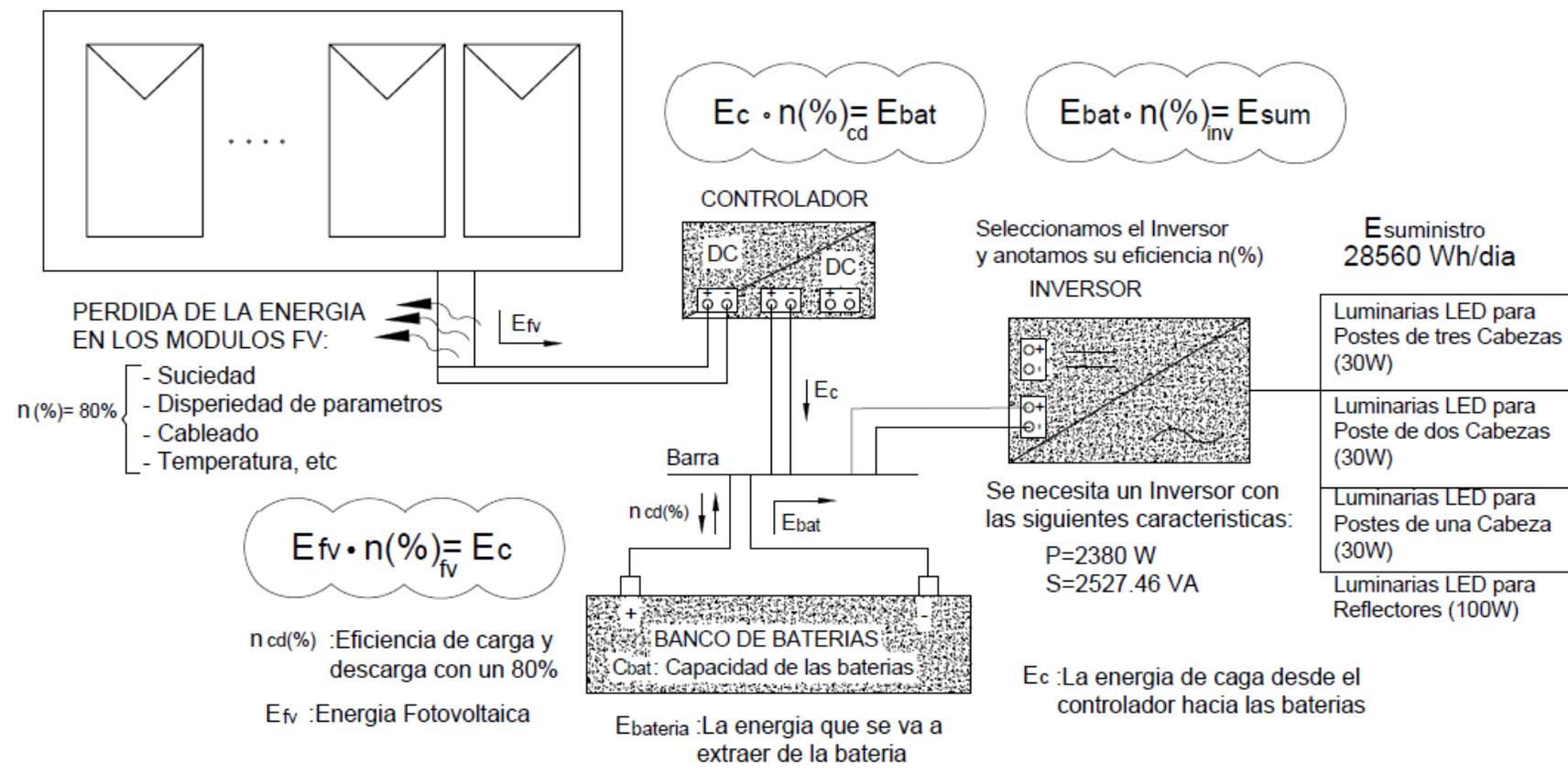
*Cuadro de detalles de consumo de las luminarias*

CARGAS	NRO POSTES	NRO CABEZAS DE POSTES	CANT. LUMINARIAS	POT. /UND (W)	HRS	FACTOR DE SERVICIO	FACTOR DE POTENCIA (f.p.)	POTENCIA TOTAL (W)	FACTOR DE DEMANDA	POTENCIA APARENTE (VA)	ENERGIA (WH/DIA)
Poste de tres Cabezas	4	3	12	30	12	1	0.90	360	1	400.00	4320.0
Poste de dos Cabezas	4	2	8	30	12	1	0.90	240	1	266.67	2880.0
Poste de una cabeza	46	1	46	30	12	1	0.95	1380	1	1452.63	16560.0
Reflector	4	1	4	100	12	1	0.98	400	1	408.16	4800.0
Energía Total										<b>28560.0</b>	Wh/día
Potencia Activa Total										<b>2380.00</b>	W
Potencia Aparente Total										<b>2527.46</b>	VA

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

**Figura 67**

Esquema general del sistema fotovoltaicos.



Nota. Fuente: Elaboración Propia

Necesitamos esta energía diaria de suministro  $E_{sist} = 28560.00 \text{ Wh/dia}$  para satisfacer las cargas de las luminarias.

De acuerdo a nuestro cuadro de cargas tenemos como potencia activa total de 2380W, para ello elegimos nuestro del tipo de sistema con la siguiente tabla.

**Tabla 10**

*Rango de potencias para cada tensión nominal*

POTENCIA	TENSIÓN NOMINAL
$P \leq 800W$	12V
$800 < P \leq 1600W$	24V
$1600 < P \leq 3200W$	48V
$P > 3200W$	120 o 300V

*Nota.* Fuente: (Rafael L. Espinoza Paredes, 2017)

De acuerdo a la tabla para el rango de potencias  $1600 < P \leq 3200W$ , elegimos el sistema a 48V

#### **4.10 Selección del inversor**

Para seleccionar el inversor debe tener los siguientes parámetros: la tensión nominal de entrada debe ser igual a la tensión de las baterías y la potencia del inversor será la suma de todas las cargas a iluminar.

Tensión nominal de entrada del inversor: 48V.

La suma de las potencias de las luminarias tomada como: potencia aparente:  $S = 2527.46VA$  y como potencia activa:  $P = 2380 W$  por lo tanto, la potencia del inversor debe ser mayor.

#### **OPCIÓN 1**

#### **INVERSOR/CARGADOR MPPT MODELO PV18-5248 PRO**

**Tabla 11**

*Selección del inversor modelo PV18-5248 PRO*

ESP. TECNICA	SOLICITADO	SELECCIONADO	CUMPLE SI/NO
POTENCIA NOMINAL (W)	2380.00	5200	SI
POTENCIA APARENTE (VA)	2527.46	5200	SI
EFICIENCIA (%)	-	0.93	SI

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

**Figura 68**

*Ficha Técnica del inversor modelo PV18-5248 PRO*

**PV1800 PRO Series (3KW-5.2KW)**



MODEL		PV18-3024 PRO	PV18-5248 PRO
Nominal Battery System Voltage		24VDC	48VDC
INVERTER OUTPUT	Rated Power	3000VA / 3000W	5200VA / 5200W
	Surge Power	6000W	10400W
	Waveform	Pure sine wave	
	AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230VAC±5%(Setting)	
	Inverter Efficiency(Peak)	93%	
	Transfer Time	10ms (UPS / VDE4105) / 20ms (APL)	
AC INPUT	Voltage	230VAC±5%	
	Selectable Voltage Range	170~280VAC(UPS) / 90~280VAC(APL) / 184~253VAC(VED4105)	
	Frequency Range	50Hz / 60Hz(Auto sensing)	

*Nota.* Fuente: (MUST, 2022)

Con este inversor/cargador de modelo PV18-5248PRO que tiene las funciones de inversor, controlador y cargador de baterías para ofrecer soporte de alimentación ininterrumpida en tamaño portátil; podremos satisfacer toda la demanda de la iluminación de la plaza las Américas.

Cuenta con las siguientes características de acuerdo a su ficha técnica:

- Tiene salida de onda sinusoidal pura
- Tiene configuración de LCD inteligente
- Es un controlador MPPT.
- Voltaje MÁXIMO de Circuito Abierto de la Matriz PV: 450V
- Puede proporcionar la energía a la carga sin batería
- Combinación de sistema solar, servicio de CA y fuente de energía de batería para suministrar energía continua
- Protección contra sobrecarga, cortocircuito y descarga profunda
- Función de arranque en frío

## OPCIÓN 2

### INVERSOR/CARGADOR MULTIPLUS 48/5000/70

**Tabla 12**

*Selección del Inversor/cargador multiplus 48/5000/70*

ESP. TECNICA	SOLICITADO	SELECCIONADO	CUMPLE SI/NO
POTENCIA NOMINAL (W)	2380.00	4000	SI
POTENCIA APARENTE (VA)	2527.46	5000	SI
EFICIENCIA (%)	-	0.95	SI

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 69**  
*Ficha técnica del Inversor/cargador Multiplus 48/5000/70*



**MultiPlus**  
**24/3000/70**

MultiPlus	12 voltios 24 voltios 48 voltios	C 12/800/35 C 24/ 800/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/80 C 24/2000/50	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
PowerAssist		SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Conmutador de transferencia (A)		16	16	16	30	16 ó 50	100
<b>INVERSOR</b>							
Rango de tensión de entrada (VCC)		9,5 – 17V		19 – 33V	38 – 66V		
Salida		Tensión de salida: 230 VAC ± 2%			Frecuencia: 50 Hz ± 0,1% (1)		
Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (3)		800	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida a 25°C (W)		700	1000	1300	1600	2400	4000
Potencia cont. de salida a 40°C (W)		650	900	1200	1400	2200	3700
Potencia cont. de salida a 65°C (W)		400	600	800	1000	1700	3000
Pico de potencia (W)		1600	2400	3000	4000	6000	10,000
Eficacia máxima (%)		92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío (W)		8 / 10	8 / 10	8 / 10	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)		5 / 8	5 / 8	5 / 8	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)		2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15

*Nota.* Fuente: (Victron Energy, 2022)

Por razones prácticas y económicas, el inversor elegido es el **INVERSOR DE OPCIÓN 1** que es de tipo monofásico con potencias de salida de 5200W y 5200VA con tensión de entrada de 48V. (Ver anexos)

Como el tipo de suministro es trifásico con el nivel de tensión 380V, se realizará la conexión hacia el inversor en red monofásica a 220V para el alumbrado de las luminarias.

#### 4.11 Selección del banco de baterías

Los días de autonomía es esencial y primordial para dimensionar las baterías o el sistema de acumulación. Para nuestro objeto de estudio se recomienda establecer con 1 día de autonomía ya que tendremos un respaldo energético por parte de la red en el caso que no se llegue a cargar las baterías para iluminar las 12 horas de uso de las luminarias.

Este método es seleccionado como uno del tipo de instalación fotovoltaica aislada con respaldo energético de la red, consideramos una profundidad de descarga máxima  $PD_{max} = 50\%$

Seguidamente calcularemos la energía de nuestro banco de baterías:

$$(E_{bat})(n_{inv}) = E_{sum}$$

Donde:

$E_{bat}$ : Energía de las baterías

$n_{inv} =$  Eficiencia del inversor

$E_{sum}$ : Energía del suministro al sistema

$$(E_{bat})(n_{inv}) = E_{sum}$$

$$E_{bat} = \frac{28560.0 \text{ Wh/dia}}{0.93}$$

$$E_{bat} = 30709.67 \text{ Wh/dia}$$

Sabemos que la tensión de las baterías es:  $V_{bat} = 48V$ , consideramos una profundidad de descarga máxima  $PD_{max} = 50\%$

$$E_{bat (50\%)} = 30709.67 \text{ Wh/dia}$$

$$E_{bat (100\%)} = 2(E_{bat (50\%)})$$

$$E_{bat (100\%)} = 2(30709.67 \text{ Wh/dia})$$

$$E_{bat (100\%)} = 61419.35 \text{ Wh/dia}$$

para 1 día de autonomía:

$$E_{bat (100\%)} = (61419.35Wh/dia)(1dia)$$

$$E_{bat (100\%)} = 61419.35Wh$$

Ahora calculamos la capacidad del banco de baterías

$$C_{bat} = \frac{E_{bat (100\%)}}{V_{bat}}$$

$$C_{bat} = \frac{61419.35Wh}{48V}$$

$$C_{bat} = 1279.56Ah$$

Como resultado se calculó una batería de capacidad 1279.56 Ah, para una autonomía de un día; en consecuencia, se opta una batería de mayor capacidad.

## OPCIÓN 1

### BATERÍA LITIO MODELO SP10000U-10KWH SUNPAL

**Figura 70**

*Batería litio modelo sp10000u-10kwh Sunpal*



Battery Specifications			
Model No	SP5000U- 5KWH	SP7000U- 7KWH	SP10000U- 10KWH
Voltage	51.2 V	51.2 V	51.2 V
Capacity	100 Ah	150 Ah	200 Ah
Energy	5.12 kWh	7.68 kWh	10.24 kWh
Operation voltage	44-58 Vdc	44-58 Vdc	44-58 Vdc
Max.charging voltage	58 Vdc	58 Vdc	58 Vdc
Max.charging and discharging current	100 A	150 A	150 A
Max Power	5120 W	7680 W	10240 W
Life time(25°C)	10 years		
Life cycles(80% DOD, 25°C)	6000 Cycles		

*Nota.* Fuente: (Sunpal, 2022)

*Capacidad:* 200Ah

*Energía:* 10.24 kWh

*Profundidad de descarga:* 80%

Realizaremos el cálculo para hallar la capacidad de la batería, para una profundidad de descarga del 80% de acuerdo a la ficha técnica.

Cálculo del consumo diario

$$Q_d = \frac{E_{sum}}{V_{sist}}$$

Donde:

$E_{sum}$ : Energía del suministro al sistema

$V_{sist}$ : Tensión del sistema

$Q_d$ : Consumo diario

$$Q_d = \frac{28560}{48}$$

$$Q_d = 595 \text{ Ah/dia}$$

Ahora c

$$C_{bat} = \frac{(Q_d)(N)}{(P_d)(n_{inv})}$$

Donde:

$C_{bat}$ : Capacida de la bateria (Ah)

$Q_d$ : Consumo diario (Ah/dia)

$N$ : Dias de autonomia

$n_{inv}$ : Eficiencia del inversor

$$C_{bat} = \frac{(595)(1)}{(0.8)(0.93)}$$

$$C_{bat} = 799.73 \text{ Ah}$$

Para la capacidad hallada de 799.73Ah seleccionamos 4 baterías de 200Ah cada una para luego hacer la conexión en paralelo y llegar a la capacidad de 800Ah.

## OPCIÓN 2

### BATERIA LITIO PYLONTECH MODELO US2000C 48V

#### Figura 71

Batería Litio Pylontech modelo US2000C 48V



Basic Parameters	US2000C
Nominal Voltage (V)	48
Nominal Capacity (Wh)	2400
Usable Capacity (Wh)	2280
Dimension (mm)	442*410*89
Weight (Kg)	24
Discharge Voltage (V)	44.5 ~ 53.5
Charge Voltage (V)	52.5 ~ 53.5
Charge / Discharge Current (A)	25(Recommend)
	50 (Max)
	90 (Peak@15s)

Battery Module	2	3	4	5	6	7
Battery System Capacity (kWh)	7.10	10.65	14.21	17.76	21.31	24.86
Voltage Range (V)	44.5~54					
Dimension (W*D*H mm)	600*380*530	600*380*700	600*380*870	600*380*1040	600*380*1210	600*380*1380
Weight (kg)	84	119	154	189	224	259
Depth of Discharge	90%					

Nota. Fuente: (Pylontech, 2022)

Capacidad: 50Ah

Energía: 2400 Wh

Profundidad de descarga: 90%

Realizaremos el cálculo para hallar la capacidad de la batería, para una profundidad de descarga del 80% de acuerdo a la ficha técnica.

Cálculo del consumo diario

$$Q_d = \frac{E_{sum}}{V_{sist}}$$

Donde:

$E_{sum}$ : Energía del suministro al sistema

$V_{sist}$ : Tensión del sistema

$Q_d$ : Consumo diario

$$Q_d = \frac{28560}{48}$$

$$Q_d = 595 \text{ Ah/día}$$

Ahora determinamos la capacidad de la batería para 1 día de autonomía.

$$C_{bat} = \frac{(Q_d)(N)}{(P_d)(n_{inv})}$$

Donde:

$C_{bat}$ : Capacidad de la batería (Ah)

$Q_d$ : Consumo diario (Ah/día)

$N$ : Días de autonomía

$n_{inv}$ : Eficiencia del inversor

$$C_{bat} = \frac{(595)(1)}{(0.9)(0.93)}$$

$$C_{bat} = 710.87 \text{ Ah}$$

Para la capacidad hallada de 710.87Ah seleccionamos 15 baterías de 50Ah cada una para luego hacer la conexión en paralelo y llegar a la capacidad de 750Ah.

Por razones económicas, El banco de baterías **SELECCIONADO ES LA OPCIÓN 1** batería de litio modelo SP10000U-10kwh Sunpal. A diferencia con otras baterías del mercado como AGM, GEL y las baterías abiertas de plomo-acido, esta batería de litio ofrece un óptimo rendimiento a las diversas instalaciones solares con altos consumos esperados sin un mantenimiento regular, además proporciona una larga vida útil. Las baterías de litio tienen una alta demanda en el mercado debido a la durabilidad y eficiencia que muestra en las instalaciones más estrictos y exigentes, así como, nuestro objeto de estudio.

Las baterías de litio, se caracterizan por una carga más rápida, larga vida, alta densidad de energía y una profundidad de descarga de más del 60%.

#### 4.12 Selección del campo fotovoltaico

Para seleccionar el campo fotovoltaico es preciso calcular la energía del controlador que se será suministrada a las baterías.

La batería que se seleccionó tiene las siguientes características de acuerdo a su ficha técnica.

*Capacidad: 200Ah*

*Energía: 10.24 kWh*

*Profundidad de descarga: 80%*

$$(E_{contr})(n_{bat}) = E_{bat}$$

$$E_{cont} = \frac{E_{bat}}{n_{bat}}$$

$$E_{cont} = \frac{30709.67 \text{ Wh/día}}{0.8}$$

$$E_{cont} = 38387.096 \text{ Wh/día}$$

Es la energía que debe suministrar el controlador

Ahora calculamos la energía del campo fotovoltaico a partir de la energía del controlador.

Las pérdidas en el campo fotovoltaico se van a dar por los siguientes casos:

- Suciedad
- Disparidad de parámetros
- Sistema de cableado
- Por temperatura

$$n_{perdidas\ FV}: 80\%$$

$$(E_{FV})(n_{perdidas\ FV}) = E_{contr}$$

$$E_{FV} = \frac{E_{contr}}{n_{perdidas\ FV}}$$

$$E_{FV} = \frac{38387.096\ Wh/dia}{0.8}$$

$$E_{FV} = 47983.87\ Wh/dia$$

Es la energía que se necesitara en el campo fotovoltaico

Ahora calculamos la potencia fotovoltaica

Tenemos:

$$HSP = 5.51\ Kwh/m^2/dia$$

$$P_{FV} = \frac{E_{FV}}{HSP}$$

$$P_{FV} = \frac{47983.87\ Wh/dia}{5.51}$$

$$P_{FV} = 8708.50\ W$$

Es la potencia que se necesita en el campo fotovoltaico. Por lo tanto, necesito un controlador que me soporte esta potencia.

Seguidamente se calculará la cantidad de módulos fotovoltaicos según a la potencia de cada modelo.

**MODULO FOTOVOLTAICO 540W MONO HALF MODELO MSD540P**

## Figura 72

### Modulo fotovoltaico 540W Mono Half Modelo MSD540P

Electrical Parameters at STC						
Module Type	MSD525P	MSD530P	MSD535P	MSD540P	MSD545P	MSD550P
Rate Maximum Power( Pmax/W)	525	530	535	540	545	550
Module Efficiency(%)	20.30	20.50	20.70	20.90	21.10	21.30
Open Circuit Volatge(Voc/V)	48.95	49.15	49.35	49.55	49.75	49.95
Short Circuit Current(Isc/A)	13.67	13.74	13.82	13.89	13.97	14.05
Voltage at Pmax(Vmp/V)	41.10	41.27	41.45	41.62	41.80	41.97
Current at Pmax(Imp/A)	12.78	12.85	12.91	12.98	13.05	13.11
Power Tolerance	0~+5w					
Temperature Coefficient of Isc	+0.046%/°C					
Temperature Coefficient of Voc	-0.276%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> Cell Temperature 25°C AM1.5					

Nota. Fuente: (PowMr, 2022)

Datos del módulo fotovoltaico

$$P = 540W$$

$$V_{oc} = 49.55V$$

$$I_{sc} = 13.89A$$

$$V_{pmp} = 41.62V$$

$$I_{pmp} = 12.98A$$

$$\#Modulos\ FV = \frac{P_{FV}}{P_{cada\ Modulo}}$$

Donde:

#Modulos FV: Numero de modulos Fotovoltaicos

$P_{FV}$ : Potencia del Campo Fotovoltaico

$P_{cada\ Modulo}$ : Potencia de cada modulo FV

$$\#Modulos\ FV = \frac{8708.50\ W}{540}$$

$$\#Modulos\ FV = 16.1$$

$$\#Modulos\ FV \approx 16$$

Por lo tanto, necesitamos 16 módulos fotovoltaicos de 540W para suministrar la energía diaria de 28560 Wh/día.

### MODULO FOTOVOLTAICO ECO GREEN 450W 24V MONO PERC CLASE A

#### MODELO 144M(M6)

#### Figura 73

*Modulo fotovoltaico Eco Green 450W 24V Mono Perc*

#### ELECTRICAL DATA AT STC\*

Power output (Pmax)	445 W	450 W	455 W
Power tolerance	0-+5 W	0-+5 W	0-+5 W
Module efficiency	20.36%	20.58%	20.81%
Maximum power voltage (Vmp)	40.84 V	40.96 V	41.06 V
Maximum power current (Imp)	10.90 A	10.99 A	11.08 A
Open circuit voltage (Voc)	49.14 V	49.28 V	49.41 V
Short circuit current (Isc)	11.48 A	11.57 A	11.66 A

*Nota.* Fuente: (Eco Green Energy, 2022)

Datos del módulo fotovoltaico

$$P = 450W$$

$$V_{oc} = 49.28V$$

$$I_{sc} = 11.57A$$

$$V_{pmp} = 40.96V$$

$$I_{pmp} = 10.99A$$

$$\#Modulos\ FV = \frac{P_{FV}}{P_{cada\ Modulo}}$$

Donde:

*#Modulos FV: Numero de modulos Fotovoltaicos*

*P<sub>FV</sub>: Potencia del Campo Fotovoltaico*

*P<sub>cada Modulo</sub>: Potencia de cada modulo FV*

$$\#Modulos FV = \frac{8708.50 W}{450}$$

$$\#Modulos FV = 19.35$$

$$\#Modulos FV \approx 20$$

Por lo tanto, necesitamos 20 módulos fotovoltaicos de 450W para suministrar la energía diaria de 28560 Wh/día.

Por razones económicas elegimos el sistema de 16 **MODULOS FOTOVOLTAICO 540W MONO HALF MODELO MSD540P**

#### **4.13 Selección del controlador**

Para nuestro objeto de estudio el sistema de tensión y corriente son distintos con respecto a la entrada y salida, por lo tanto, se selecciona un controlador de tipo MPPT ya que se puede manejar diferentes potencias ( voltaje y corriente) en el campo fotovoltaico y en la batería , también nos permite conseguir una máxima producción de las placas solares para poder sacar la máxima potencia al panel solar , como también a los respectivos reguladores MPPT , ya que, utilizan un algoritmo de seguimiento y rastrea el punto de máxima potencia del módulo FV.

Seleccionamos el controlador MPPT con los siguientes datos:

$$P_{FV} = 8708.50 W$$

$$V_{bat} = 48V$$

#### **OPCION 1**

**INVERSOR/CARGADOR MPPT MODELO PV18-5248 PRO**

**Figura 74**

*Controlador MPPT Modelo PV18-5248 PRO*

**PV1800 PRO Series (3KW-5.2KW)**



MODEL		PV18-3024 PRO	PV18-5248 PRO
Nominal Battery System Voltage		24VDC	48VDC
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	450VDC	
	Maximum PV current	18A	
	PV Array MPPT Voltage Range	150-430 VDC	
	Maximum Solar Charge Current	80Amp	
	Maximum AC Charge Current	60Amp	
	Maximum Charge Current	80Amp	

*Nota. Fuente: (MUST, 2022)*

Como se seleccionó los módulos fotovoltaicos de las siguientes características:

$$P = 540W$$

$$V_{oc} = 49.55V$$

$$I_{sc} = 13.89A$$

$$V_{pmp} = 41.62V$$

$$I_{pmp} = 12.98A$$

Calculamos la cantidad de módulos FV que nos podría soportar este controlador con las siguientes características:

$$V_{oc\ Control.} = (150 - 430) VDC$$

$$I_{sc} = 18A$$

Para 8 módulos FV conectados en serie la tensiones su suman:

*Tension de  $V_{oc\ FV}$  del arreglo FV < Tension de  $V_{oc\ Control.}$  de Controlador*

$$8V_{oc} < V_{oc\ Control.}$$

$$(49.55)(8) < 430V$$

$$396.4 < 430V \dots \dots \dots (OK)$$

Por lo tanto, con este controlador será posible la conexión de 8 módulos FV.

Para los siguientes otros 8 módulos FV se selecciona el siguiente controlador

**MPPT MODELO PC1800A SERIES (60A/80A)**

**Figura 75**

*Controlador MPPT Modelo PC1800A Series (60A/80A)*



MODEL		PC18-6015A		PC18-8015A	
Nominal Battery System Voltage		12V/24V/48VDC (Auto detection); 36V (Setting)			
ELECTRICAL SPECIFICATIONS	Battery Voltage	12V	24V	36V	48V
	Maximum Battery Current	60Amps		80Amps	
	Battery Voltage				
	PV Array MPPT Voltage Range	15-95V	30-130V	45-130V	60-130V
	Maximum Input Power	12 Volt-940W 24 Volt-1880W 36 Volt-2820W 48 Volt-3760W		12 Volt-1250W 24 Volt-2500W 36 Volt-3750W 48 Volt-5000W	
	Protections	Solar high voltage disconnect Solar high voltage reconnect Battery high voltage disconnect Battery high voltage reconnect High temperature disconnect High temperature reconnect			

Nota. Fuente: (MUST, 2022)

$$V_{oc\ Control.} = 130V$$

Para este controlador realizaremos la conexión de los módulos FV en 4 strings en paralelo de 2 módulos FV cada string en serie.

Cuando se conecta en serie, los voltajes se suman y la corriente permanece constante

Cada string:

*Tension de  $V_{oc\ FV}$  del arreglo FV < Tension de  $V_{oc\ Control.}$  de Controlador*

$$2V_{oc} < V_{oc\ Control.}$$

$$(49.55)(2) < 130V$$

$$99.1 < 130V \dots \dots \dots (OK)$$

Los 4 strings en paralelo

*Corriente de  $I_{sc\ FV}$  del arreglo FV < Corriente de  $I_{sc\ control.}$  de Controlador*

$$4I_{sc\ FV} < I_{sc\ control.}$$

$$(13.19)(4) < 104A$$

$$52.76 < 104A \dots \dots \dots (OK)$$

Por lo tanto, con este controlador será posible la conexión de 8 módulos FV.

## OPCIÓN 2

### CONTROLADOR MPPT MODELO 150/100

**Figura 76**

*Controlador MPPT Modelo 150/100*



Controlador de carga SmartSolar  
MPPT 150/100-Tr  
Con dispositivo conectable

Controlador de carga SmartSolar	MPPT 150/85	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36V)	
Corriente de carga nominal	85A	100A
Potencia FV máxima, 12 V 1a,b)	1200W	1450W
Potencia FV máxima, 24 V 1a,b)	2400W	2900W
Potencia FV máxima, 48 V 1a,b)	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	70A	70A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150V máximo absoluto en las condiciones más frías 145V en arranque y funcionando al máximo	
Eficacia máxima	98%	
Autoconsumo	Menos de 35mA a 12V / 20mA a 48V	

*Nota.* Fuente: (Victron Energy, 2022)

Para este controlador realizaremos la conexión de los módulos FV en 4 strings en paralelo de 2 módulos FV cada string en serie.

Cuando se conecta en serie, los voltajes se suman y la corriente permanece constante

Cada string:

*Tension de  $V_{oc\ FV}$  del arreglo FV < Tension de  $V_{oc\ Control.}$  de Controlador*

$$2V_{oc} < V_{oc\ Control.}$$

$$(49.55)(2) < 150V$$

$$99.1 < 130V \dots \dots \dots (OK)$$

Los 4 strings en paralelo

*Corriente de  $I_{sc\ FV}$  del arreglo FV < Corriente de  $I_{sc\ control.}$  de Controlador*

$$4I_{sc\ FV} < I_{sc\ control.}$$

$$(13.19)(4) < 70A$$

$$52.76 < 70A \dots \dots \dots (OK)$$

Por lo tanto, con este controlador será posible la conexión de 8 módulos FV.

Como nuestro campo fotovoltaico nos admite 16 módulos FV será necesario 2 controladores MPPT modelo 150/100.

Por razones económicas elegimos para nuestro sistema la OPCIÓN 1 compuesta por el **INVERSOR/CARGADOR MPPT MODELO PV18-5248 PRO Y EL CONTROLADOR MPPT MODELO PC1800A SERIES (60A/80A).**

#### **4.14 Cálculo para selección de conductores.**

Para el correcto diseño del sistema fotovoltaico es necesario la aplicación de los accesorios eléctricos y elementos de seguridad, esto se debe a que siempre existe consumos y perdidas por caídas de tensión en los conductores. Los accesorios son los siguientes. (Pérez Zulueta, 2019)

Cable módulo solar – Controlador

Controlador - Batería

Batería -Inversor

Inversor- carga (luminarias)

Los cables se seleccionan en función de la caída de tensión máxima, calculada para un porcentaje de la tensión nominal que se determina con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\rho_{cu} \times 2L \times I_D}{\Delta V}$$

Donde:

$S$ : Sección del conductor [ $mm^2$ ]

$\rho_{cu}$ : Resistividad del cobre a  $40^\circ C$  [ $\Omega \cdot mm^2/m$ ]

$L$ : Longitud total del conductor [m]

$I_D$ : Intensidad de corriente de diseño [A]

$\Delta V$ : Caída de tensión [V]

Calculamos la sección del conductor entre el campo fotovoltaico y el controlador

$$I_{FV} = 54.95A$$

$$V_{FV} = 98.56V$$

Para calcular la corriente de diseño  $I_D$  va a depender de un factor de seguridad (f.s.) y de la corriente fotovoltaica  $I_{FV}$ .

$$I_D = (f.s.) I_{FV}$$

$$I_D = (1.25)(54.95)$$

$$I_D = 68.68A$$

Para este tipo de conexión, los diseños incluyen cables fotovoltaicos que cumplen con las especificaciones técnicas de la normatividad vigente, tomando en cuenta las siguientes caídas de tensión:

- Módulos fotovoltaicos – Controlador: 2,0%
- Controlador – Batería: 1,0%
- Barra – Inversor: 1,0%

Para calcular la caída de tensión entre los módulos fotovoltaicos recomendamos que sea 1.5% de la tensión fotovoltaica.

$$\Delta V = (1.5\%)(\Delta V_{FV})$$

$$\Delta V = \frac{1.5}{100}(98.56)$$

$$\Delta V = 1.478V$$

Cada elemento de nuestro sistema fotovoltaico se encuentra a una distancia determinada:

- Máxima longitud modulo FV – Controlador: 10 m
- Máxima longitud Controlador – Batería: 4m
- Máxima longitud Batería – Inversor: 4 m

Entonces:

$$2L: 10m$$

$$\rho_{cu} = \frac{1}{58} \Omega \cdot mm^2 / m$$

$$S_1 = \left( \frac{1}{58} \right) \left( \frac{10 \times 68.68}{1.478} \right)$$

$$S_1 = 8.01 mm^2$$

$$S_1 = S_2 \approx 10 mm^2$$

## CAPITULO V: CÁLCULO DE ANALISIS ESTRUCTURAL

### 5.1 Objetivo

El objetivo del presente estudio es determinar la resistencia, esfuerzos y deformaciones de la estructura soporte para 16 paneles solares distribuidos en todo el ancho efectivo.

### 5.2 Alcance

La presente memoria será aplicable al soporte para paneles solares que será analizado en el siguiente documento.

### 5.3 Normas y documentos de referencia

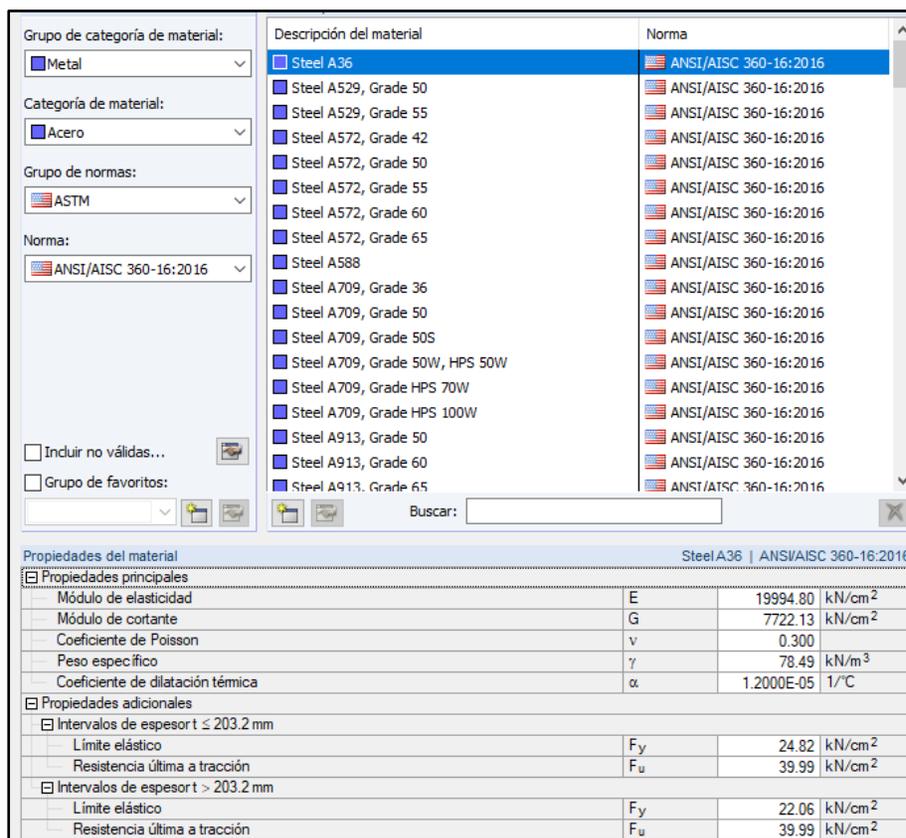
Las normas que se han tomado en cuenta para los cálculos estructurales son:

- American Institute of Steel Construction, AISC 360-10.
- American Society for testing Materials ASTM A-36
- American Society of civil engineers ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associate Criteria for Buildings and other Structures
- Normal E.090 Estructuras metálicas.
- Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”
- El análisis estructural será desarrollado mediante el software SAP2000.

## 5.4 Propiedades del material

Figura 77

Propiedades del material ASTM A36



Propiedades del material			
		Steel A36   ANSI/AISC 360-16:2016	
<input checked="" type="checkbox"/> Propiedades principales			
Módulo de elasticidad	E	19994.80	kN/cm <sup>2</sup>
Módulo de cortante	G	7722.13	kN/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	ν	0.300	
Peso específico	γ	78.49	kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente de dilatación térmica	α	1.2000E-05	1/°C
<input checked="" type="checkbox"/> Propiedades adicionales			
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor t ≤ 203.2 mm			
Limite elástico	F <sub>y</sub>	24.82	kN/cm <sup>2</sup>
Resistencia Última a tracción	F <sub>u</sub>	39.99	kN/cm <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor t > 203.2 mm			
Limite elástico	F <sub>y</sub>	22.06	kN/cm <sup>2</sup>
Resistencia Última a tracción	F <sub>u</sub>	39.99	kN/cm <sup>2</sup>

Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)

## 5.5 Cálculo de cargas mecánicas

Para el diseño se considera la norma E090-Diseño de estructuras en acero-RNE

Figura 78

Combinaciones LRFD-E090

1,4D	(1.4 -1)
1,2D + 1,6L + 0,5(L <sub>r</sub> ó S ó R)	(1.4 -2)
1,2D + 1,6(L <sub>r</sub> ó S ó R) + (0,5L ó 0,8W)	(1.4 -3)
1,2D + 1,3W + 0,5L + 0,5(L <sub>r</sub> ó S ó R)	(1.4 -4)
1,2D ± 1,0E + 0,5L + 0,2S	(1.4 -5)
0,9D ± (1,3W ó 1,0E)	(1.4 -6)

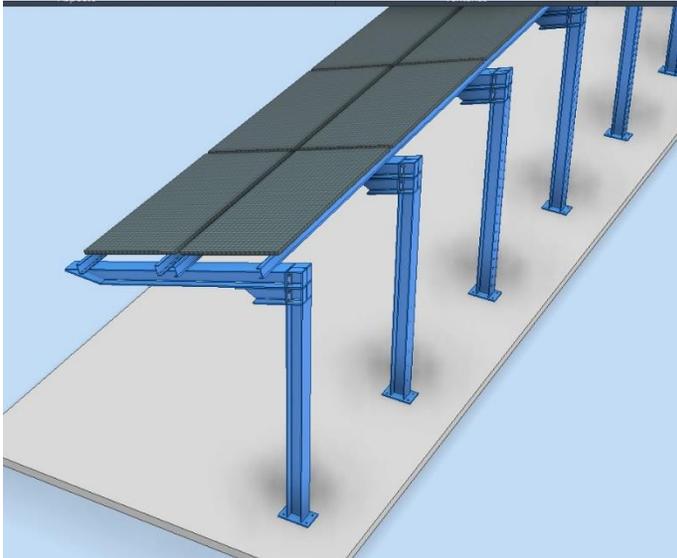
*Nota.* Fuente: (SENCICO, 2020)

## 5.6 Parámetros de calculo

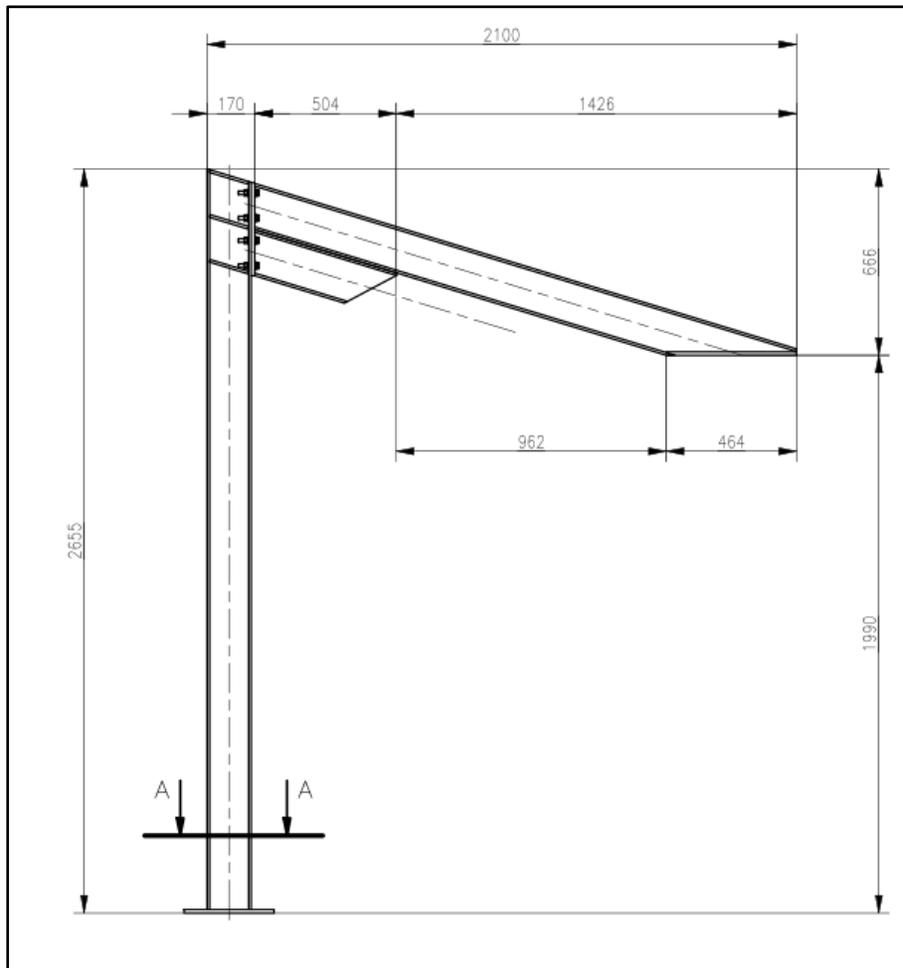
### Geometría

#### Figura 79

*Configuración general-soporte para paneles.*



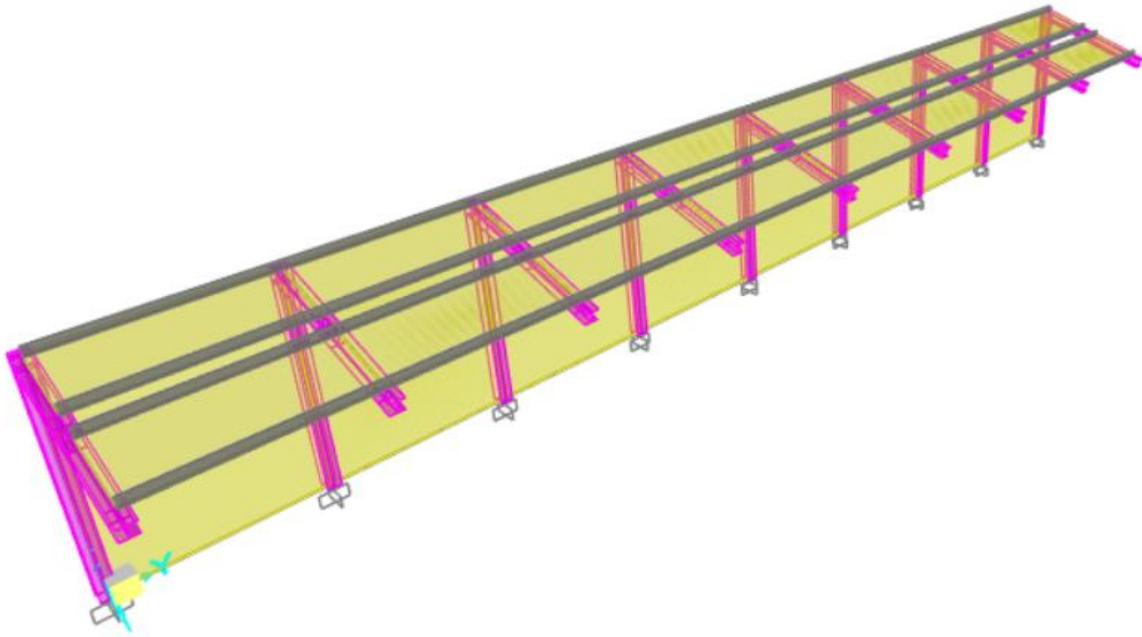
*Nota.* Fuente: (Autodesk Inventor, 2021)

**Figura 80***Dimensiones generales de pórtico a un agua*

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

## Figura 81

Modelado 3D-SAP2000.



Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)

### 5.7 Cálculo de cargas -soporte de paneles

#### Carga muerta

Peso propio de la estructura calculado por el software SAP2000.

#### Peso de paneles

Se considera como carga viva, el peso de los paneles solares.

**Figura 82**

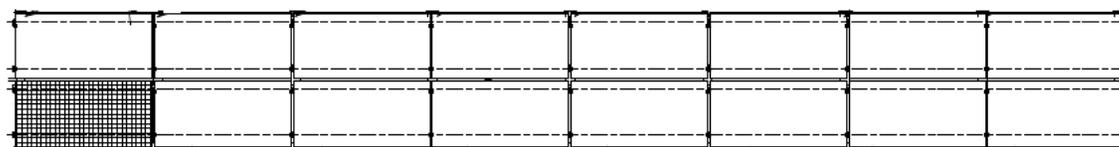
*Propiedades del panel solar Modelo MSD540M-144*

Specifications	
Solar Cell(Type/Size)	MONO(182mm)
Solar Cells Number	144pcs(6*24)
Dimensions	2279×1134×35mm
Weight	28.5Kg/Pcs
Structure	3.2 Glass + EVA film + Back
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP68 3*Bypass Diode
Cable Cross Section Size	4.0mm <sup>2</sup> , (+)300mm/(-)400mm
Mechanical Load	Front 5400Pa/Back 2400Pa
Packing Number	31Pcs/Pallet
Packing Volume	3.372Cbm/Pallet
40'HQ Container	620Pcs

*Nota.* Fuente: (PowMr, 2022)

**Figura 83**

*Distribución de los 16 paneles*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Por la configuración de la estructura, los paneles descansan sobre las correas, conformadas por perfiles tipo C4\*5.4.

*Wpanel: 28.5kgf*

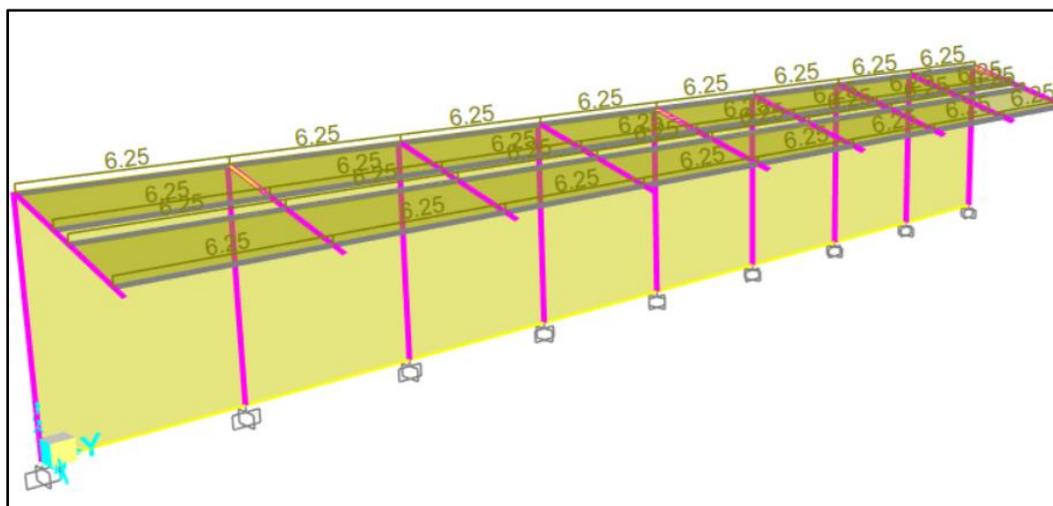
*n correas por panel: 2*

*Lcorrea: 2279mm*

$W_{lineal}: 6.253kgf/m$

**Figura 84**

*Aplicación de peso de paneles en correas(6.253kgf/m).*



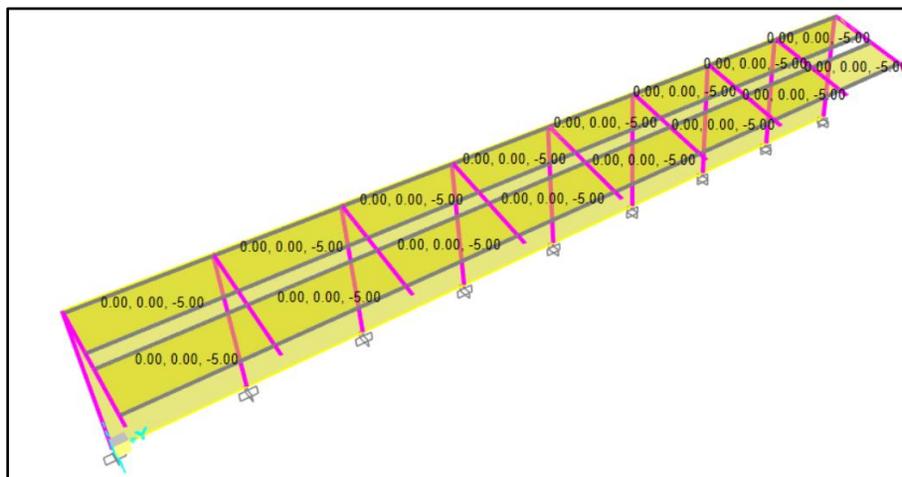
*Nota.* Fuente: (SAP2000, 2021)

### 5.8 Peso por acumulación de polvo.

Al pasar el tiempo, la tendencia de los paneles a acumular el polvo produce una carga estimada de 5kgf/m<sup>2</sup>.

**Figura 85**

*Carga por unidad de área-acumulación de polvo(5kgf/m<sup>2</sup>).*

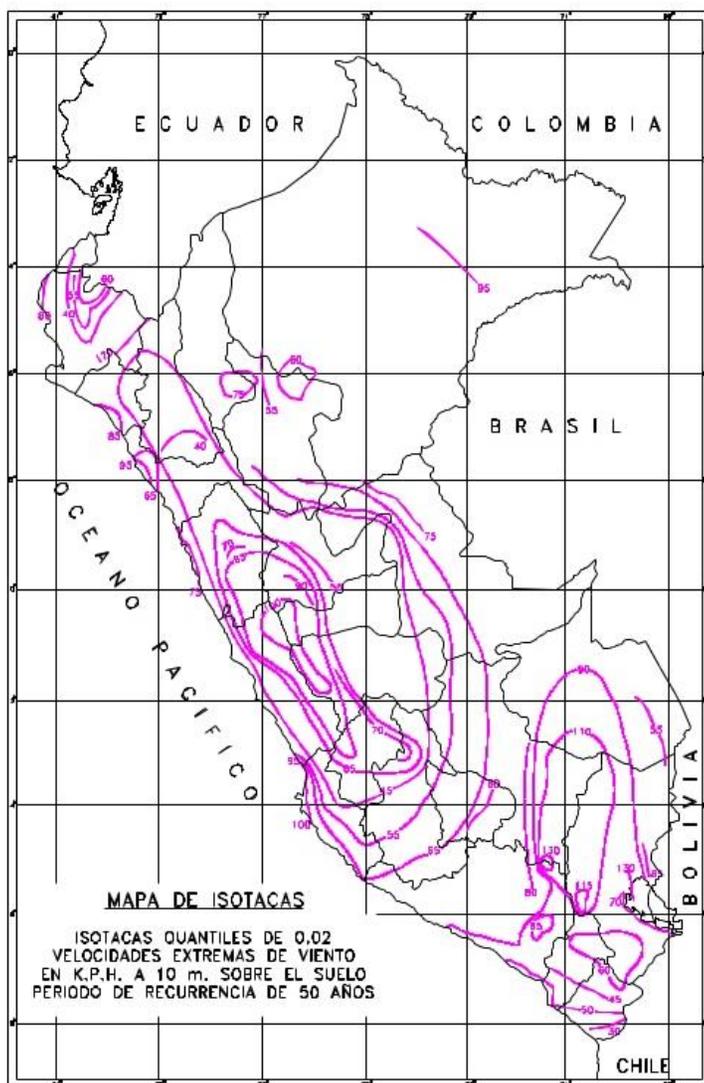


*Nota.* Fuente: (SAP2000, 2021)

## 5.9 Cargas de viento.

**Figura 86**

*Mapa eólico del Perú*



*Nota.* Fuente: (SENCICO, 2020)

Para Arequipa, consideramos una velocidad de diseño de 85km/h.

El cálculo de presiones debida al viento según E020-Cargas RNE.

Velocidad de diseño hasta 10m de altura

$$V = 85 \text{ km/h} \approx 23.61 \text{ m/s}$$

Velocidad de diseño a la altura  $h$

$$h = 10 \text{ m}$$

$$V_h = V \left( \frac{h}{10} \right)^{0.22} = 23.61 \text{ m/s}$$

Calcula de la presión de viento según característica de techo o superficie:

$$P_h = 0.005C(V_h^2)$$

Consideramos dos direcciones de viento (X e Y) teniendo en cuenta la presión y succión.

Superficies verticales de edificio

$$C_b = 0.8 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{hb} = 0.005C_b(V_h^2)$$

$$P_{hb} = 0.005(0.8)(85^2)$$

$$P_{hb} = 28.9 \text{ kgf/m}^2$$

$$C_s = -0.6 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{hs} = 0.005C_s(V_h^2)$$

$$P_{hs} = 0.005(-0.6)(85^2)$$

$$P_{hs} = -21.7 \text{ kgf/m}^2$$

Superficies inclinadas entre  $15^\circ$  y  $60^\circ$ .

$$C_b = 0.7 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{hb} = 0.005C_b(V_h^2)$$

$$P_{hb} = 0.005(0.7)(85^2)$$

$$P_{hb} = 25.3 \text{ kgf/m}^2$$

$$C_s = -0.6 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{hs} = 0.005C_b(V_h^2)$$

$$P_{hs} = 0.005(-0.6)(85^2)$$

$$P_{hs} = -21.7 \text{ kgf/m}^2$$

Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelos a la dirección del viento.

$$C_b = -0.7 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{hb} = 0.005C_b(V_h^2)$$

$$P_{hb} = 0.005(-0.7)(85^2)$$

$$P_{hb} = -25.3 \text{ kgf/m}^2$$

$$C_s = -0.7 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{hs} = 0.005C_b(V_h^2)$$

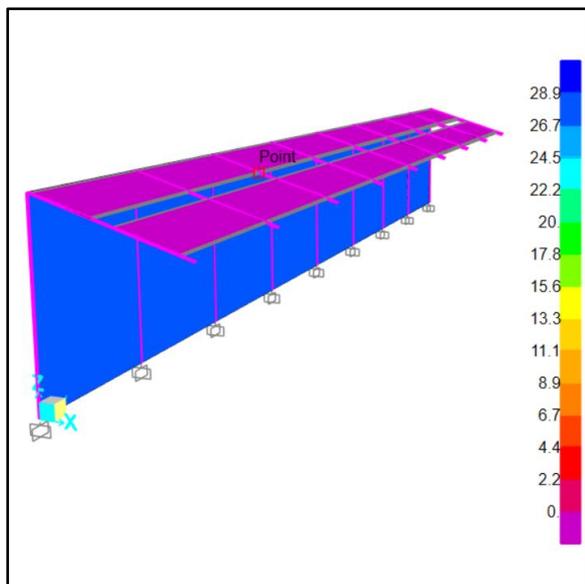
$$P_{hs} = 0.005(-0.7)(85^2)$$

$$P_{hs} = -25.3 \text{ kgf/m}^2$$

Aplicación de viento en dirección X.

**Figura 87**

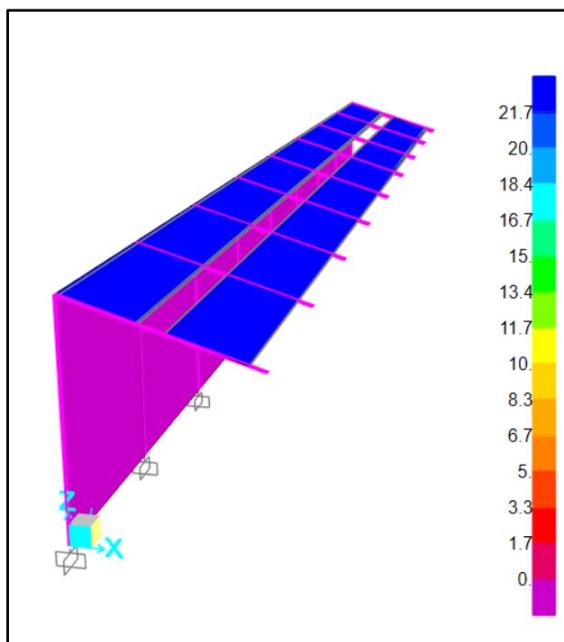
*Presión del viento cargada en las columnas-28.9kgf/m<sup>2</sup>*



*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*

**Figura 88**

*Succión 21.7kgf/m<sup>2</sup>.*

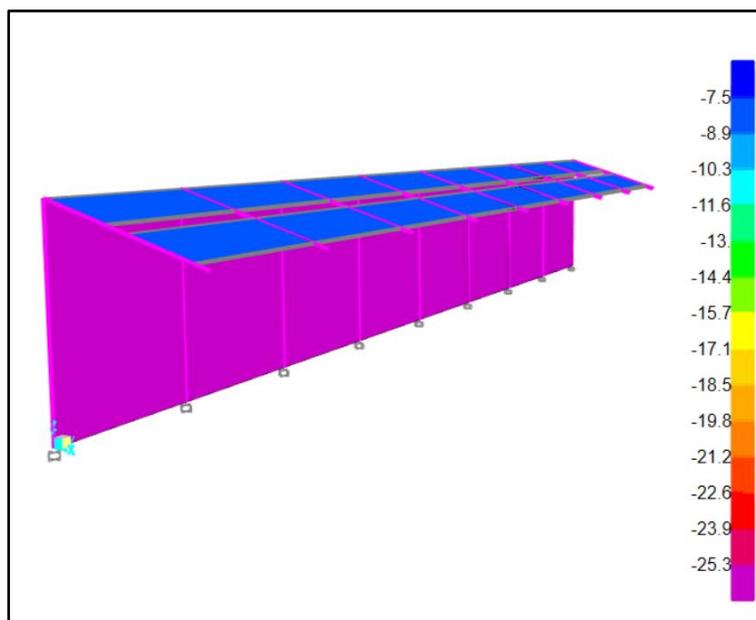


*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*

Aplicación de viento en la dirección Y.

**Figura 89**

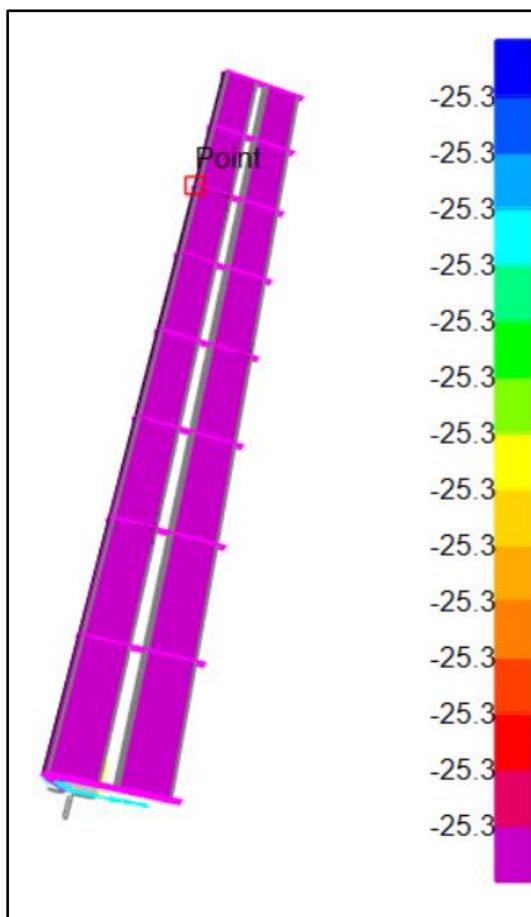
*Succión lateral-columnas(25.3kgf/m<sup>2</sup>).*



*Nota.* Fuente: (SAP2000, 2021)

**Figura 90**

*Succión superior 25.3kgf/m<sup>2</sup>*



*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*

## 5.10 Análisis sísmico

**Figura 91**

*Mapa de zonas sísmicas*



*Nota.* Fuente: (MVCS, 2018)

### **Factor de zona**

Para Arequipa-Cerro Colorado:

Z:0.35

**Factor de uso**

**Figura 92**

*Factor de uso-E030.*

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

*Nota.* Fuente: (MVCS, 2018)

Por el peso de los paneles, la estructura no acarrea problemas a futuro, por ello asignamos un factor de uso U:1.

## FACTOR DE SUELO “S”

### Figura 93

Factor de suelo E030.

ZONA \ SUELO	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05	1,10
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

Nota. Fuente: (MVCS, 2018)

Al no contar con información del tipo de suelo, nos vamos al extremo conservador, S<sub>3</sub>, dándonos:

$$S_3: 1.20$$

### Figura 94

Periodos  $T_p$  y  $T_L$ .

	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
$T_p$ (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
$T_L$ (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

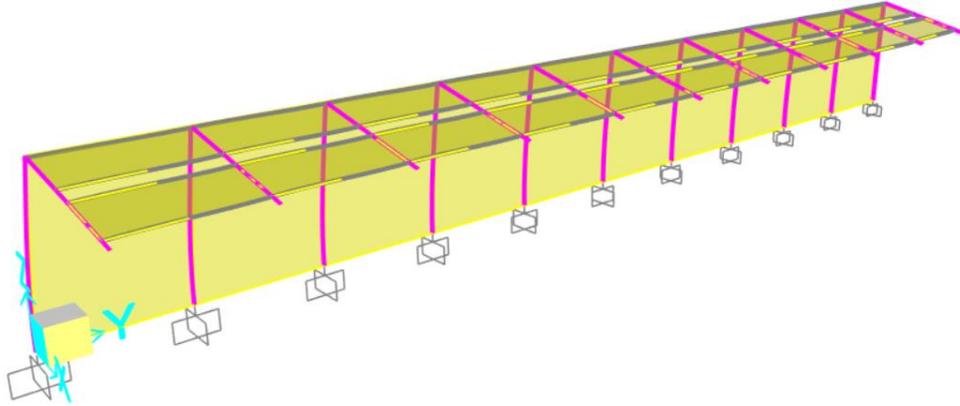
Nota. Fuente: (MVCS, 2018)

Nuestra estructura tiene un periodo fundamental de 0.3158s.

## Figura 95

Periodo fundamental 0.3158s.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.31584; f = 3.1662



Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)

Al tener un periodo inferior al  $T_p(1)$ , la norma nos indica que el factor C:2.5.

**Sistema estructural-factor R**

## Figura 96

*Factor de reducción R.*

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción $R_0$ (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	3
<b>Madera</b>	7(**)

(\*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(\*\*) Para diseño por esfuerzos admisibles.

*Nota.* Fuente: (MVCS, 2018)

El pórtico es de tipo OMF, obteniendo  $R:4$ .

## Tabla 13

*Fuerza cortante total en la base de la estructura*

Cálculo de la fuerza cortante total en la base de la estructura	
<b>Z</b>	<b>0.35</b>
<b>U</b>	<b>1</b>
<b>S</b>	<b>1.2</b>
<b>C</b>	<b>2.5</b>
<b>R</b>	<b>4</b>
<b>ZUSC/R</b>	<b>0.2625</b>

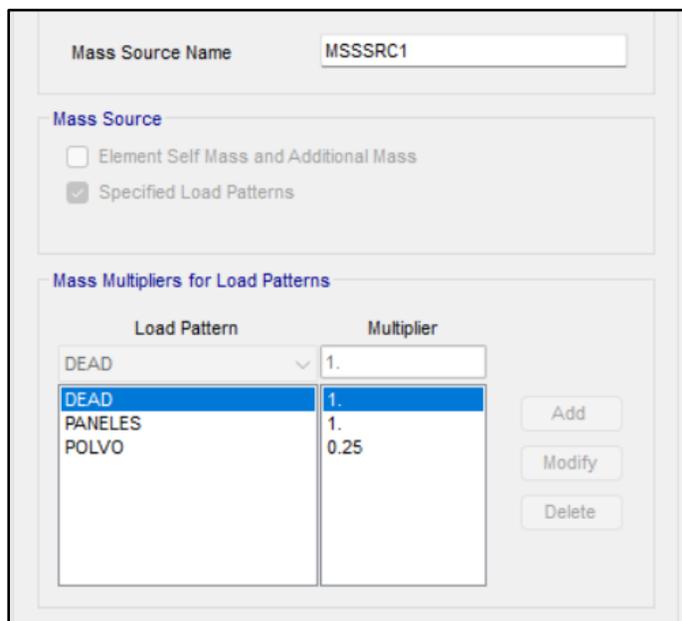
*Nota.* Fuente: (MVCS, 2018)

## Configuramos la masa sísmica de nuestra estructura.

Aplicamos un 25% del peso vivo-polvo.

### Figura 97

*Masa sísmica de la estructura.*



Mass Source Name: MSSSRC1

Mass Source:

- Element Self Mass and Additional Mass
- Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns:

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
PANELES	1.
POLVO	0.25

Buttons: Add, Modify, Delete

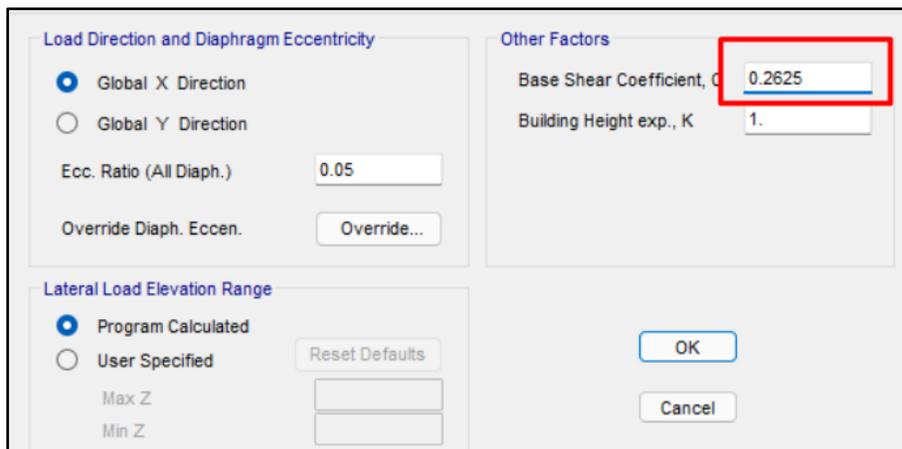
Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)

Generamos casos de sismo en X e Y.

Cargamos el factor ZUSC/R

**Figura 98**

*Factor ZUSC/R-sismo X*



**Load Direction and Diaphragm Eccentricity**  
 Global X Direction  
 Global Y Direction  
 Ecc. Ratio (All Diaph.)   
 Override Diaph. Eccen.

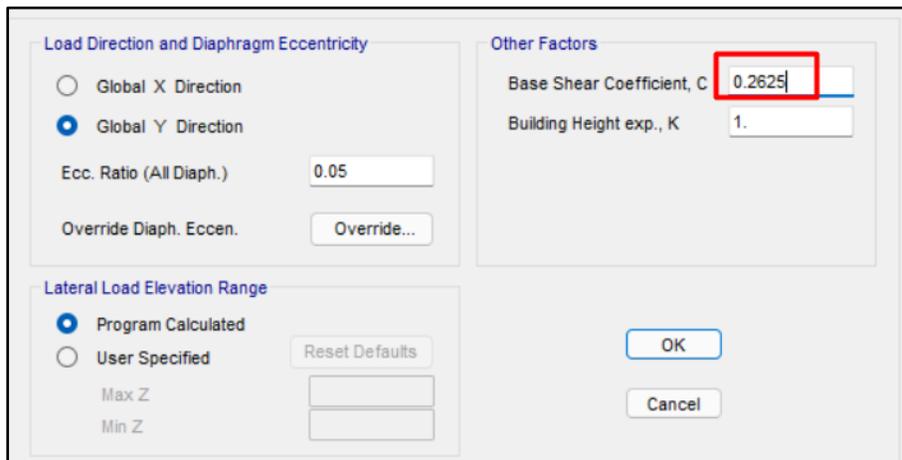
**Other Factors**  
 Base Shear Coefficient, C   
 Building Height exp., K

**Lateral Load Elevation Range**  
 Program Calculated  
 User Specified   
 Max Z   
 Min Z

*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*

**Figura 99**

*Factor ZUSC/R-sismo Y.*



**Load Direction and Diaphragm Eccentricity**  
 Global X Direction  
 Global Y Direction  
 Ecc. Ratio (All Diaph.)   
 Override Diaph. Eccen.

**Other Factors**  
 Base Shear Coefficient, C   
 Building Height exp., K

**Lateral Load Elevation Range**  
 Program Calculated  
 User Specified   
 Max Z   
 Min Z

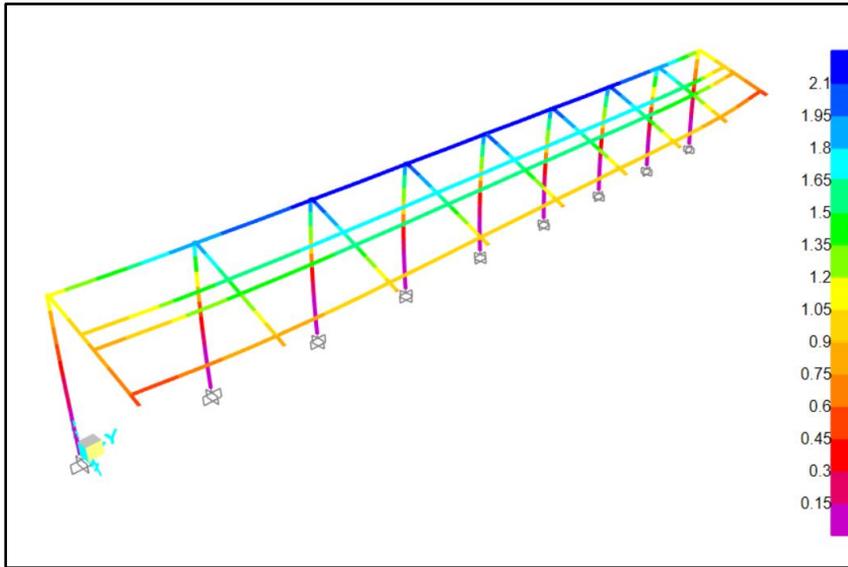
*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*



## DEFORMACIÓN

**Figura 101**

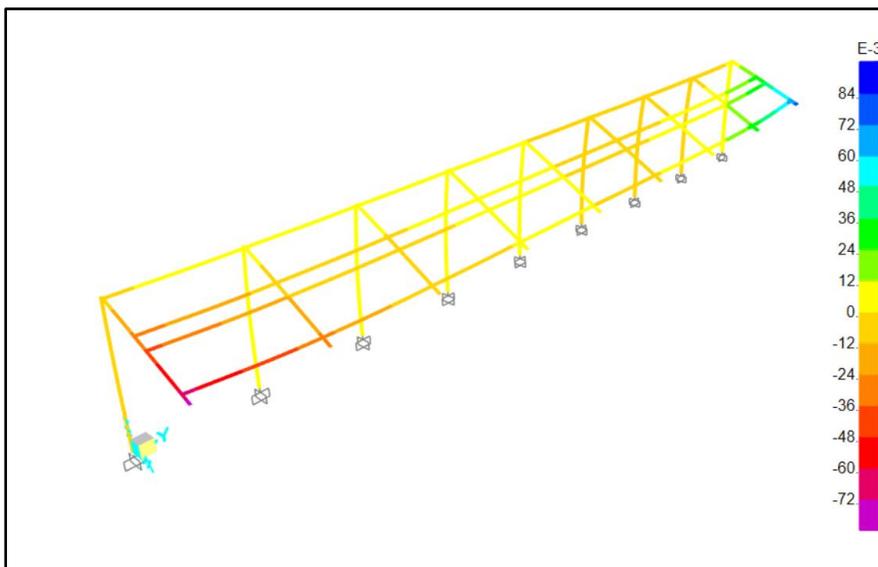
*Máx. deformación x-2.12mm.*



*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*

**Figura 102**

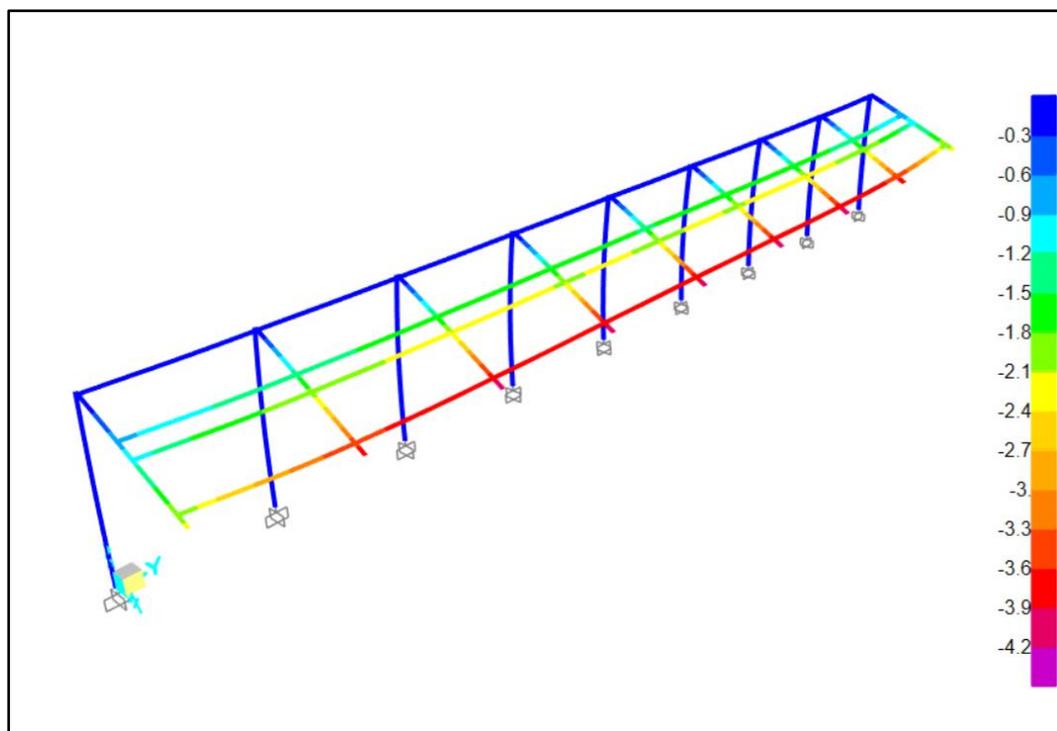
*Máx. deformación Y-0.089mm.*



*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*

**Figura 103**

*Máx. deformación -Z: 4.2mm.*



*Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)*

**Figura 104***Análisis-COMB.1.2D+0.5L-1.3Vx*

```

Frame : 40          Design Sect: W6X20
X Mid  : 0.         Design Type: Column
Y Mid  : 8480.      Frame Type : Ordinary Moment Frame
Z Mid  : 1327.5     Sect Class : Seismic
Length : 2655.     Major Axis : 0. degrees counterclockwise from local 3
Loc    : 0.         RLLF      : 1.

Area   : 3787.089   SMajor : 218846.618   rMajor : 67.455   AVMajor: 1039.998
IMajor : 17231981.02 SMinor : 72407.963   rMinor : 38.233   AVMinor: 2362.684
IMinor : 5535877.96 ZMajor : 245805.96   E       : 20389.019
Ixy    : 0.         ZMinor : 110121.07   Fy      : 25.311

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
Location  Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
0.         -406.007  312406.78  265749.655  0.428   118.721  801.781

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO
Governing Total      P      MMajor      MMinor      Ratio      Status
Equation  Ratio      Ratio      Ratio      Ratio      Limit      Check
(H1-lb)   0.173 = 0.007 + 0.058 + 0.107  0.95      OK

AXIAL FORCE DESIGN
Pu      phi*Pnc      phi*Pnt
Force   Capacity  Capacity
Axial   -406.007  29459.914  86267.831

MOMENT DESIGN
Mu      phi*Mn      Cm      B1      B2      K      L      Cb
Moment  Capacity  Factor  Factor  Factor  Factor  Factor  Factor
Major Moment  312406.78  5356452.942  0.999  1.  1.  2.  1.  1.001
Minor Moment  265749.655  2474120.996  0.526  1.  1.  2.  1.

SHEAR DESIGN
Vu      phi*Vn      Stress      Status      Tu
Force   Capacity  Ratio      Check      Torsion
Major Shear  0.428  14214.352  3.008E-05  OK      0.
Minor Shear  118.721  32292.389  0.004      OK      0.

```

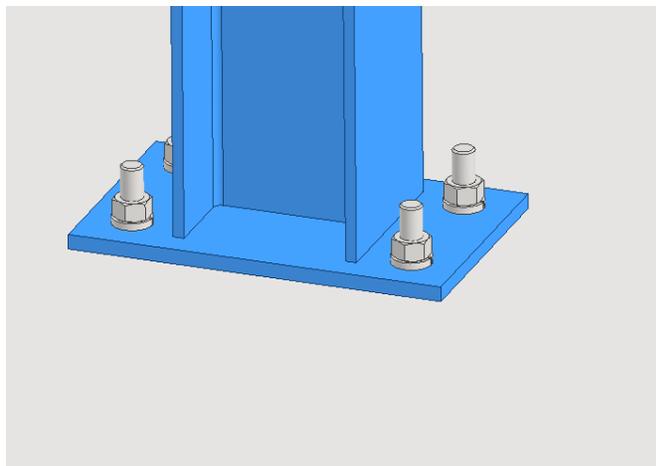
Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)

**5.12 Análisis de conexiones**

Se emplean dos conexiones típicas.

**Figura 105**

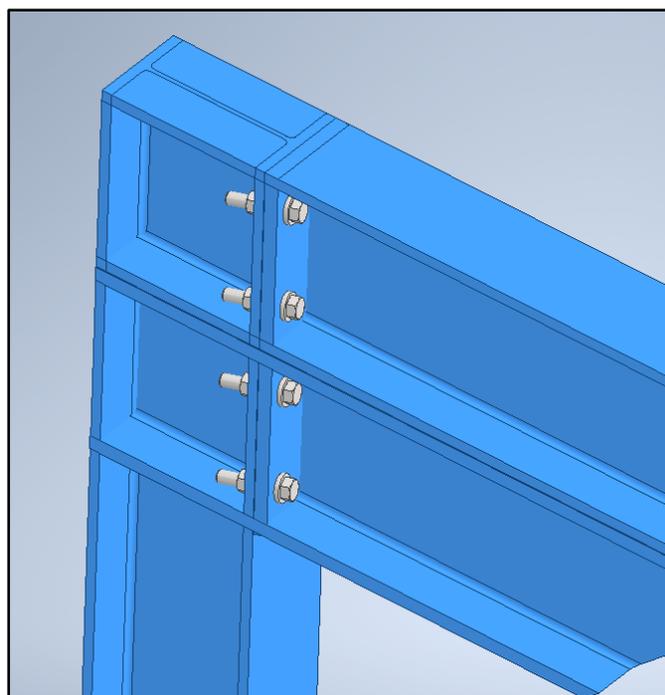
*Configuración anclaje típico.*



*Nota.* Fuente: (Autodesk Inventor, 2021)

**Figura 106**

*Conexión viga-columna*



*Nota.* Fuente: (Autodesk Inventor, 2021)

Del software SAP 2000 se extraen los mayores valores para diseño de conexión.

**Figura 107**

*Mayores valores COMB 1.2D+0.5L-1.3V-x*



Nota. Fuente: (SAP2000, 2021)

**Figura 108**

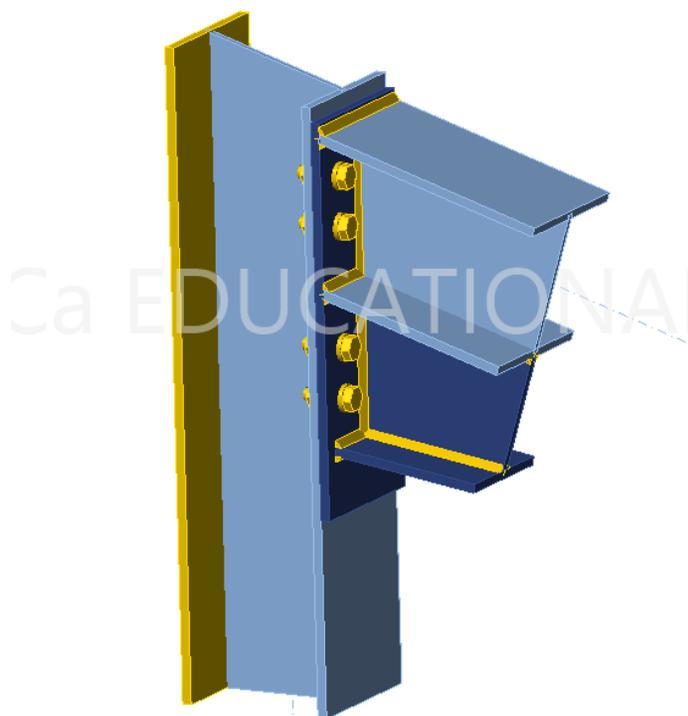
*Cargas asignadas al programa Idea Statica*

	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	M2 / End	0.7	0.5	-3.8	0.2	4.1	0.0

*Nota.* Fuente: (IDEA StatiCa, 2022)

**Figura 109**

*Modelado Idea Statica.*

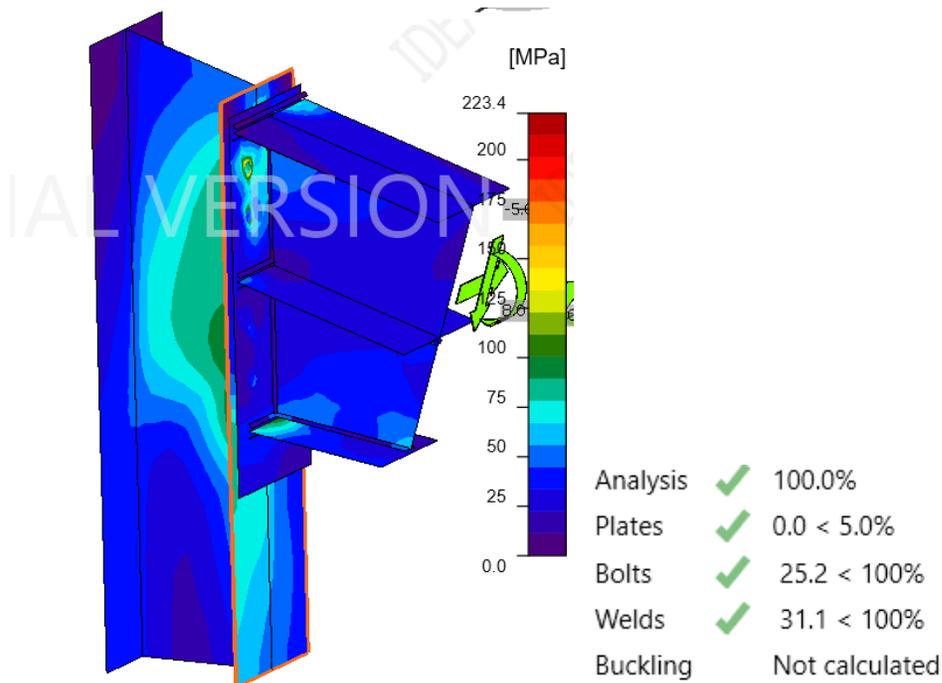


*Nota.* Fuente: (IDEA StatiCa, 2022)

### 5.13 Resultados

**Figura 110**

*Distribución de esfuerzos en conexión.*



*Nota.* Fuente: (Autodesk Inventor, 2021)

#### **RESISTENCIA A LA TENSION (AISC 360-16 J3-1)**

$$\phi R_n = \phi F_{nt} A_b = 58.9 \text{ kN} \geq F_t = 13.1 \text{ kN}$$

Donde:

$F_{nt} = 620.0 \text{ MPa}$ ; Esfuerzo de tracción nominal de AISC 360 – 16 Tabla J3.2

$A_b = 126.677 \text{ mm}^2$ ; Área transversal bruta del perno

$\phi = 0.75$ ; Factor de resistencia

### RESISTENCIA AL CORTE (AISC360-16 J3.1)

$$\phi R_n = \phi F_{nv} A_b = 35.3 \text{ kN} \geq V = 1.6 \text{ kN}$$

Donde:

$F_{nv} = 372.0 \text{ MPa}$ ; Esfuerzo cortante nominal de AISC 360 – 16 Tabla J3.2

$A_b = 126.677 \text{ mm}^2$ ; Área transversal bruta del perno

$\phi = 0.75$ ; Factor de resistencia

### RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO (AISC360-16 J3.6)

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = 82.3 \text{ kN} \geq V = 1.6 \text{ kN}$$

Donde:

$l_c = 75 \text{ mm}$ ; Distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde del material

$t = 9 \text{ mm}$ ; Espesor de la placa

$d = 12.7 \text{ mm}$  (1/2"); Diámetro del perno

$F_u = 400.0 \text{ MPa}$ ; Resistencia a la tracción del material conectado

$\phi = 0.75$ ; Factor de resistencia para el apoyo en los agujeros de los pernos

Se consideró un perno estructural A325, con diámetro de 1/2".

Se procederá con el cálculo la sección del perno.

$$D = \frac{1}{2} \text{ pulg}$$

$$A = D^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$A = 126.677 \text{ mm}^2$$

La sección que se muestra en el software es  $127\text{mm}^2$ , resultado aproximado, pero los cálculos se trabajan con la sección sin aproximar.

Se emplea el método LRFD para cálculo de pernos, para ello emplea un factor de reducción de 0.75, y se trabaja con la sección bruta del perno, no se considera la sección de esfuerzo ya que la sección bruta se castiga con el factor 0.75.

Revisar sección J AISC 360-16

Cuando se analiza el aplastamiento, el elemento más débil resulta ser la plancha, material A36 con las siguientes propiedades:

**Tabla 14**

*Acero ASTM A36 Propiedades*

Propiedades Mecánicas Acero A36		Notas
Resistencia a la tracción, MPa/ksi	400-550/(58-80)	Placas de acero.
	250 (36)	Espesor $\leq 200\text{mm}$ (8 pulg.)
Limite elástico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), $\geq$	220 (32)	Espesor de placas de acero $> 200\text{mm}$ (8 pulg.)
	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
Elongación, %, $\geq$	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción

Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 (29×10 <sup>3</sup> )	–
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft·lbf), ≥	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79,3 (11,5×10 <sup>3</sup> )	–
Fy del acero A36 (Limite de fluencia), MPa (ksi), ≥	250 (36)	–

*Nota.* Fuente: (Material Mundial Grados, 2022)

#### 5.14 Análisis conexión de anclaje

Se extrae la mayor carga para los anclajes.

**Tabla 15**

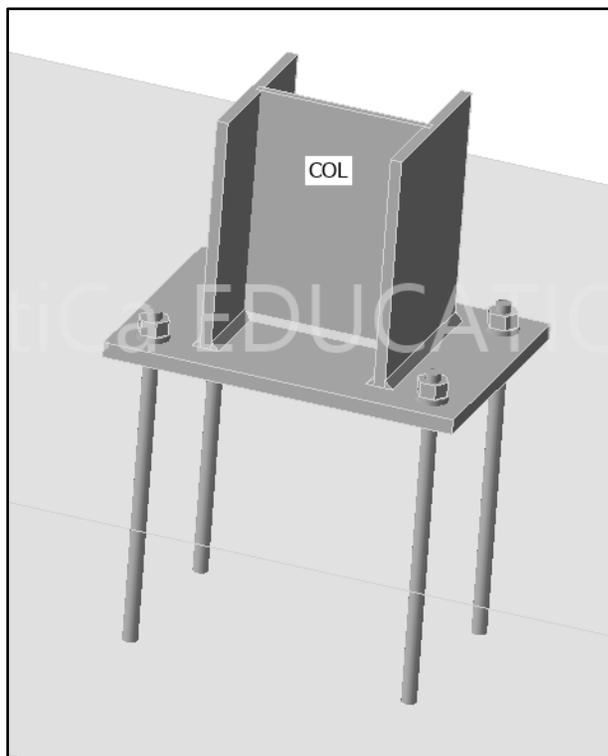
*Análisis de conexión de anclaje*

Joint	F1(Kgf)	F2(Kgf)	F3(Kgf)	M1(Kgf*m)	M2(Kgf*m)	M3(Kgf*m)
37	247.87	0.014	500.38	0.05365	-152.82	0.00762

*Nota.* Fuente: (SAP2000, 2021)

**Figura 111**

*Modelado anclajes-Idea Statica.*



*Nota.* Fuente: (IDEA StatiCa, 2022)

**Figura 112**

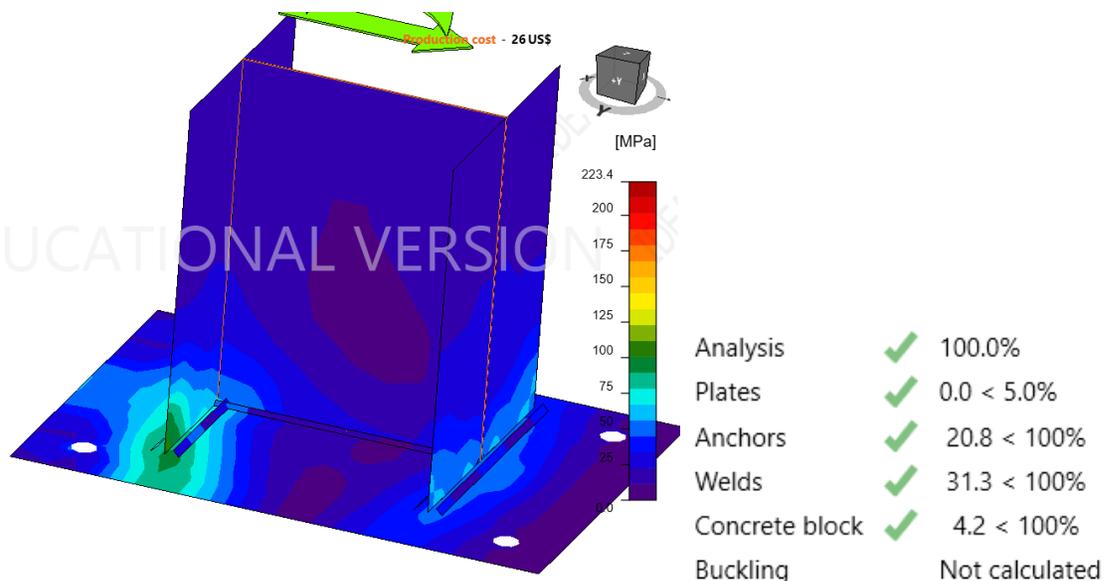
*Cargas asignadas al programa Idea Statica-Student Version*

	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	COL / End	-4.9	0.0	-2.4	0.0	1.5	0.0

*Nota.* Fuente: (IDEA Statica, 2022)

**Figura 113**

*Distribución de esfuerzos en anclaje.*



*Nota.* Fuente: (Autodesk Inventor, 2021)

**RESISTENCIA A LA TRACCION DE ANCLAJES (ACI 318-14 - 17.4.1)**

$$\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} = 53.1 \text{ kN} \geq N_f = 11.0 \text{ kN}$$

Donde:

$\phi = 0.70$ ; Factor de resistencia

$A_{se,N} = 92 \text{ mm}^2$ ; Área de tensión de tracción

$f_{uta} = 827.4 \text{ MPa}$ ; Resistencia a la tracción específica del acero de anclaje

$$f_{uta} = \min(860 \text{ MPa}, 1.9, f_{ya}, f_u)$$

Donde:

$f_{ya} = 634.3 \text{ MPa}$ ; Límite elástico especificado del acero de anclaje

$f_u = 827.4 \text{ MPa}$ ; Resistencia última especificada del acero de anclaje

**RESISTENCIA AL CORTE (ACI318-14 - 17.5.1)**

$$\phi V_{sa} = \phi \cdot 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta} = 29.6 \text{ kN} \geq V = 1.5 \text{ kN}$$

Donde:

$\phi = 0.65$ ; *Factor de resistencia*

$A_{se,V} = 92 \text{ mm}^2$ ; *Área de tensión de tracción*

$f_{uta} = 827.4 \text{ MPa}$ ; *Resistencia a la tracción específica del acero de anclaje*

$$f_{uta} = \min(860 \text{ MPa}, 1.9, f_{ya}, f_u)$$

Donde:

$f_{ya} = 634.3 \text{ MPa}$ ; *Límite elástico especificado del acero de anclaje*

$f_u = 827.4 \text{ MPa}$ ; *Resistencia última especificada del acero de anclaje*

## CAPÍTULO VI: ESTUDIO ECONÓMICO

En el presente capítulo se describe la inversión requerida para realizar la implementación y desarrollo de un sistema de iluminación con tecnología LED suministrada con energía fotovoltaica en la Plaza las Américas en el distrito de cerro colorado. Por lo tanto, se debe calcular el periodo de recuperación de la inversión, con una vida útil estimada de 20 años. Esto se debe a que, este límite se establece como un punto máximo de inversión positiva. Los principales factores a considerar son:

Costo del equipamiento necesario para la inversión del sistema de iluminación.

Mano de obra y montaje estructural

Mantenimiento programado.

### 6.1 Inversión total del sistema fotovoltaico

En esta sección vamos a detallar los componentes a utilizar en nuestro sistema fotovoltaico a implementar. Para ello analizamos la infraestructura eléctrica actual y la comparamos con la implementación del sistema fotovoltaico, comparando el valor real de energía con los dispositivos y precios que existe actualmente en el mercado.

**Tabla 16**

*Inversión total del sistema fotovoltaico*

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	PRE. UNIT.	SUBTOTAL
<b>MATERIALES</b>				<b>S/ 95,892.73</b>
1	Panel Solar 540 W Mono Half-Cut	16	S/ 1,250.00	S/ 20,000.00
2	Batería de Litio 10.24kWh Sunpal	3	S/ 12,000.00	S/ 36,000.00
3	Inversor Must Solar 5200W	1	S/ 4,500.00	S/ 4,500.00
4	Controlador Must 80A	1	S/ 1,900.00	S/ 1,900.00
5	Kit de accesorios de instalación fotovoltaica-Energy Peru	1	S/ 2,000.00	S/ 2,000.00

6	Soporte Estructural (Pórtico) de los Módulos FV	1	S/ 15,000.00	S/ 15,000.00
7	Luminarias LED de 30W de 135Lm/W	46	S/ 15.93	S/ 732.69
8	Luminarias LED de 30W de 168Lm/W	20	S/ 29.42	S/ 588.36
9	Reflector LED de 100W	4	S/ 136.00	S/ 543.98
			<b>IMPORTE</b>	<b>S/ 81,265.03</b>
			<b>IGV (18%)</b>	<b>S/ 14,627.71</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>S/ 95,892.73</b>
			<b>MANO DE OBRA</b>	<b>S/ 3,000.00</b>
			<b>OTROS GASTOS (2%)</b>	<b>S/ 1,917.85</b>
			<b>TOTAL INVERSION</b>	<b>S/ 100,810.59</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### Tabla 17

*Mano de Obra del sistema fotovoltaico*

MANO DE OBRA	COSTO
<b>Costo de instalación de los Equipos Fotovoltaicos</b>	
02 técnicos para montaje	S/ 1,200.00
<b>Costo de instalación de la parte Estructural</b>	
02 técnicos para montaje	S/ 1,200.00
01 supervisor	S/ 600.00
<b>TOTAL</b>	<b>S/ 3,000.00</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### 6.2 Costo de mantenimiento del sistema fotovoltaico

Costo de mantenimiento	1.00% Inversión
Vida útil de equipos	20 años

**Tabla 18***Costo de mantenimiento del sistema fotovoltaico*

<b>AÑO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>% PARA COSTO DEL MANT.</b>	<b>COSTO DE MANT.</b>
1	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
2	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
3	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
4	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
5	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
6	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
7	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
8	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
9	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
10	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
11	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
12	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
13	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
14	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
15	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
16	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
17	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
18	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
19	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
20	MATENIMIENTO	1.00%	S/ 1,008.11
<b>TOTAL</b>			<b>S/ 20,162.12</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.**6.3 Costo de mantenimiento del sistema convencional**

Costo de mantenimiento      S/ 12,000.00

**Tabla 19***Costo de mantenimiento del sistema convencional*

<b>AÑO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO DE MANT.</b>
1	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
2	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
3	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
4	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
5	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
6	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
7	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
8	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
9	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
10	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
11	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
12	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
13	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
14	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
15	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
16	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
17	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
18	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
19	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
20	MATENIMIENTO	S/ 12,000.00
<b>TOTAL</b>		<b>S/ 240,000.00</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

#### 6.4 Ahorro en el costo de mantenimiento

AÑO	SIST. FOTOVOLTAICO	SIST. CONVENCIONAL	AHORRO
1	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
2	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
3	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
4	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
5	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
6	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
7	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
8	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
9	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
10	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
11	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
12	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
13	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
14	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
15	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
16	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
17	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
18	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
19	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
20	S/ 1,008.11	S/ 12,000.00	S/ 10,991.89
<b>TOTAL</b>			<b>S/ 219,837.88</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

#### 6.5 Ahorro económico anual

##### Costo de energía anual del sistema fotovoltaico

Para calcular el ahorro económico de la energía eléctrica necesitamos un precio de referencia del kWh para ello obtenemos el precio de consumo de energía eléctrica de la tarifa

vigente correspondientes al Distrito de Cerro Colorado, Provincia de Arequipa departamento de Arequipa, publicado por Osinergmin en su página web.

**Tabla 20**

*Costo de la energía anual del SF*

	<b>Costo Unitario (S/.) kWh</b>	<b>Energía kWh Mensual</b>	<b>Total, Energía (S/.)</b>
<b>Energía Eléctrica</b>	0.2708	856.8	S/ 232.02
		<b>IGV (18%)</b>	S/ 41.76
		<b>Energía Mensual (S/.)</b>	<b>S/ 273.79</b>
<b>(1) ENERGIA CON MODULOS FV</b>			<b>Energía Anual (S/.)</b>
			<b>S/ 3,285.42</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### **Costo de energía anual convencional**

Para el cálculo anual de la energía convencional, los datos reales se tomaron datos de la facturación eléctrica mensual del periodo 2021-2022, los datos fueron proporcionados por la SEAL. Por lo tanto, se realizó una comparación entre energía de alumbrado público convencional y energía de alumbrado público procedente del sistema de iluminación fotovoltaico con tecnología LED.

**Tabla 21**

*Costo de la energía anual convencional*

CONSUMO	Abr-21	May-21	Jun-21	Jul-21	Ago-21	Set-21	Oct-21	Nov-21	Dic-21	Ene-22	Feb-22	Mar-22	TOTAL
Energía Convencional	447.34	1467.92	1722.2	1246.49	1675.78	1219.77	1231.86	1158.97	1408.1	1523.68	1406.69	1727.87	<b>16236.67</b>
Energía kWh	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	856.8	<b>10281.6</b>
AHORRO	<b>-409.46</b>	<b>611.12</b>	<b>865.4</b>	<b>389.69</b>	<b>818.98</b>	<b>362.97</b>	<b>375.06</b>	<b>302.17</b>	<b>551.3</b>	<b>666.88</b>	<b>549.89</b>	<b>871.07</b>	<b>5955.07</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### Evaluación del ahorro de costo de energía

	Costo Unitario (S/) kWh	Energía kWh anual real	Total, energía (S/)
<b>Energía Eléctrica</b>	0.2708	5955.07	S/ 1,612.63
		IGV (18%)	S/ 290.27
	<b>(2) ENERGIA DE AHORRO POR LOS MODULOS FV</b>	<b>Energía Anual (S/)</b>	<b>S/ 1,902.91</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

#### Ahorro energético anual

En el cálculo se alcanzó un consumo tarifario anual S/. 1902.91 con respecto a la energía fotovoltaica; por consiguiente, obtenido todos los cálculos de la convencional y del sistema de iluminación fotovoltaica con tecnología LED, se procede en calcular el ahorro energético anual.

**Tabla 22**

*Ahorro energético anual*

(1) ENERGIA CON PANELES	S/ 3,285.42
(2) ENERGIA AHORRADA POR LOS PANELES	S/ 1,902.91
<b>AHORRO ENERGETICO ANUAL</b>	<b>S/ 5,188.33</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### 6.6 Análisis de la rentabilidad del proyecto

Para lograr el periodo de recuperación de la inversión, se debe de calcular el flujo neto de caja, el valor actual neto (VAR), la tasa interna de recuperación (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión. Esta tabla 23 se muestra la aplicación del análisis de flujo neto efectivo.

**Tabla 23***Análisis del flujo de efectivo*

<b>VIDA UTIL</b>	<b>INGRESO TOTAL</b>	<b>EGRESO TOTAL</b>	<b>INV. INICIAL</b>	<b>FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>VALOR PRESENTE DEL FLUJO DE EFECTIVO</b>	<b>FLUJO DE EFECTIVO ACUMULADO</b>
0			-S/ 100,810.59	-S/ 100,810.59		
1	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 15,121.71	S/ 15,121.71
2	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 14,132.43	S/ 29,254.14
3	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 13,207.88	S/ 42,462.02
4	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 12,343.82	S/ 54,805.84
5	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 11,536.28	S/ 66,342.12
6	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 10,781.57	S/ 77,123.68
7	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 10,076.23	S/ 87,199.91
8	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 9,417.04	S/ 96,616.95
9	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 8,800.97	S/ 105,417.92
10	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 8,225.21	S/ 113,643.13
11	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 7,687.11	S/ 121,330.23
12	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 7,184.21	S/ 128,514.45
13	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 6,714.22	S/ 135,228.67
14	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 6,274.97	S/ 141,503.64
15	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 5,864.46	S/ 147,368.09
16	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11		S/ 16,180.22	S/ 5,480.80	S/ 152,848.90

17	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11	S/ 16,180.22	S/ 5,122.24	S/ 157,971.14
18	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11	S/ 16,180.22	S/ 4,787.14	S/ 162,758.29
19	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11	S/ 16,180.22	S/ 4,473.97	S/ 167,232.25
20	S/ 17,188.33	-S/ 1,008.11	S/ 16,180.22	S/ 4,181.28	S/ 171,413.53

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), se utilizará los datos obtenidos en la tabla 23, para los datos de flujo de caja anual que se proyecta a un periodo de 20 años.

Tasa: 7%

PRI: Periodo de Recuperación de Inversión

#### **Tabla 24**

*Calculo del VAN y TIR*

<b>INDICADORES ECONOMICOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
<b>VAN</b>	S/ 70,602.94
<b>TIR</b>	15%
<b>PRI</b>	8.44

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados del flujo de caja obtenidos para la rentabilidad y viabilidad del proyecto muestran un VAN de S/. 70 602.94, un TIR de 15 % y con un periodo de recuperación de toda la inversión en 8 años y 5 meses.

## CONCLUSIONES

Se realizó el estudio para la implementación de iluminación artificial mediante paneles solares FV para la plaza las Américas en el distrito de Cerro Colorado.

De acuerdo al estudio que se realizó en la zona del proyecto utilizando el software PVWatts se calculó las horas de sol pico (HSP) mínimo de 5,51 kWh/m<sup>2</sup>/día para el mes de febrero y un valor máximo de 7,84 kWh/m<sup>2</sup>/día para el mes de setiembre, estos cálculos se realizaron para un ángulo óptimo de 20°. Ahora para nuestro cálculo de nuestro sistema FV se utilizó las HSP de 5,51 kWh/m<sup>2</sup>/día que es el más desfavorable con el fin de tener una buena producción solar durante el año.

Se realizó el estudio lumínico haciendo el uso del software DIALux con tecnología LED para nuestro lugar de estudio, posterior a ello se realizó el mapa luminotécnico que nos da a conocer la calidad lumínica basándose en la Norma Técnica de Alumbrado de Vías Públicas en zonas de concesión de distribución.

Se describió los componentes del sistema fotovoltaico y luego se realizó el dimensionamiento aplicando el sistema aislado con respaldo energético para la contingencia y suministro de la red eléctrica de alumbrado en la plaza las Américas.

De acuerdo a los resultados de nuestro sistema FV se estimó que se necesitan 66 luminarias LED de 30W y 04 reflectores de 100W, 16 paneles solares de 540Wp, 03 baterías de 200Ah de 24V CD, para un día de autonomía, un inversor/cargador/controlador de 5200W a 48V, 01 controlador de 80A y accesorios de instalación.

En el estudio económico se han obtenido los resultados favorables ya que nuestra rentabilidad de nuestro proyecto del sistema FV tiene un tiempo de recuperación de la inversión de 8 años, que es menor al tiempo de vida útil de nuestro proyecto (20 años), lo que nos indica que es viable y factible nuestro proyecto.

Se realizó los planos de diseño y fabricación de la estructura de soporte (pórtico) para los módulos FV.

### **RECOMENDACIONES.**

Se recomienda que las empresas que están encargadas del sector eléctrico puedan cambiar el sistema de alumbrado convencional con el diseño realizado, lo cual habría un ahorro en el costo de la mensualidad y reducir en el impacto ambiental.

Se recomienda con otra alternativa, el uso de postes solares ya que es independiente de la red eléctrica, lo que resulta una disminución en los costos de operación y mantenimiento. Dado que los postes solares no están conectados con el tendido de redes eléctricas.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMARAE. (11 de mayo de 2020). *AMARAE*. Obtenido de Delaminacion: <https://www.amarae.com/enemigos-fotovoltaica-delaminacion/>
- ATLAS DE ENERGIA SOLAR DEL PERU. (2003). *ELECTRIFICACIÓN RURAL A BASE DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN EL PERÚ*. Obtenido de SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA.
- AutoSolar. (19 de Abril de 2015). *¿Qué és el Silicio Monocristalino?* Obtenido de <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-es-el-silicio-monocristalino>
- AutoSolar. (19 de Abril de 2015). *¿Qué és el Silicio Policristalino?* Obtenido de <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-es-el-silicio-policristalino>
- AutoSolar. (29 de Marzo de 2022). *AutoSolar*. Obtenido de <https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-hibrido-3kw-growatt-sph3000>
- AutoSolar. (2022). *Conector MC4 Multicontact Macho-Hembra*. Obtenido de <https://autosolar.pe/accesorios-de-paneles-solares/conector-mc4-multicontact-macho-hembra>
- Casas Solares. (2021). *Paneles Solares Fotovoltaicos*. Obtenido de Sistema Off Grid, On Grid e Híbridos: <https://casassolares.club.hotmart.com/lesson/k45noNGjel/parte-n007-tipos-de-sf>
- Eco Green Energy. (2022). Ficha Técnica del Modulo fotovoltaico Eco Green 450W 24V Mono Perc.
- Espinoza Paredes, R. L. (2017). *La Ingeniería Fotovoltaica*. Lima.
- ExpoSolarPeru. (2021). *Expo Solar Peru*. Obtenido de <http://expo-solar.com/presentacion/>

Fernández García, L. G., & Cervantes Torres, A. (2017). Tesis que como requisito para obtener el grado de Maestro en Energías Renovables. *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira*. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C., Altamira.

Gomez, J. (2022). *Diplomado en Energía Solar Fotovoltaica*. Instituto Electrotech, Lima.

Gonzalez Pinzon, C. L. (mayo de 2013). *ResearchGate*. Obtenido de Sistema Fotovoltaico: [https://www.researchgate.net/figure/Efecto-fotovoltaico-El-silicio-como-elemento-quimico-cuenta-con-catorce-electrones\\_fig3\\_316860377](https://www.researchgate.net/figure/Efecto-fotovoltaico-El-silicio-como-elemento-quimico-cuenta-con-catorce-electrones_fig3_316860377)

Grijalva Campoverde, C. X., & Velez Mosquera, F. D. (2020). Proyecto de titulacion. *Estudio e implementacion de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: Caso de Estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero*. Universidad Politecnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodologia de la investigacion*. Mexico.

Inarquia. (2022). *Paneles Solares Bifaciales*. Obtenido de <https://inarquia.es/panel-solar-bifacial-que-es-ventajas-precios/>

IRENA. (2019). *Agencia Internacional de las Energías Renovables*. Obtenido de Solar Energy Data: <https://www.irena.org/solar>

IRENA. (2020). *Agencia Internacional de las Energías Renovables*. Obtenido de Solar Energy Data: <https://www.irena.org/solar>

IRENA. (2021). *Agencia Internacional de las Energías Renovables*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021-ES>

- Jerez, N. (2020). Determinación de la eficiencia de un mini panel solar fotovoltaico: una experiencia de laboratorio en energías renovables. *Revistas UNAM*, Vol 31, No 2.
- Juarez Rivera , R. M. (2018). DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA DISTRIBUIDA PARA MÓDULOS DE 3 KW ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR APLICADO EN LA ZONA DE SOCABAYA-AREQUIPA. *Tesis*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Lopez Ruiz, P. (2015). Ingeniería Técnica Industrial Especialista en Electrónica Industrial. *Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica de una vivienda aislada*. Universidad Rovira Virgili, Tarragona.
- Material Mundial Grados. (2022). *ASTM A36 Acero Propiedades & Ficha Técnica: Fy, Dureza, Densidad*. Obtenido de <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. (2002). NORMA TÉCNICA DGE “ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ZONAS DE CONCESIÓN DE DISTRIBUCIÓN”. *DIRECCIÓN GENERAL DE ELECTRICIDAD*.
- MUST. (2022). Ficha técnica Inversor Cargador Modelo PV18-5248 PRO.
- MVCS. (07 de Diciembre de 2018). MODIFICAN LA NORMA TÉCNICA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *RESOLUCIÓN MINISTERIAL N°355-2018-VIVIENDA*. Peru.
- National Renewable Energy Laboratory. (s.f.). PVWatts. *Alliance for Sustainable Energy*.
- New Energy. (19 de Febrero de 2021). *Diodo de derivación de la caja de conexiones fotovoltaicas para la protección del panel solar*. Obtenido de

<https://www.dsisolar.com/info/pv-junction-box-s-bypass-diode-for-solar-panel-54221810.html>

OSINERMIN. (2020). *Energía Solar*. Obtenido de

<https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/energia-solar/que-es-la-energia-solar>

Pérez Zulueta, J. A. (2019). DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

FOTOVOLTAICO MEDIANTE TECNOLOGÍA LED PARA EL PARQUE CENTRAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN CAJAMARCA. *TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN, Jaen.

PowMr. (2022). Ficha Técnica del Módulo fotovoltaico 540W Mono Half Modelo MSD540P.

<https://powmr.com/solar-panels/powmr-540-watt-solar-panel-mono-half-cut-single-double-glass-module/>.

Pylontech. (2022). Ficha Técnica de la Batería litio pylontech modelo US2000C 48V.

Rafael L. Espinoza Paredes, R. L. (2017). *Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la energía Universidad Nacional de Ingeniería*. Lima: Segunda Edición.

San Juan, P. (05 de Diciembre de 2019). *Suria Energy*. Obtenido de

<https://www.suriaenergy.com/paneles-solares-de-media-celda-la-nueva-tendencia>

SENAMHI. (2003). *Radiación Solar por Departamento*. Obtenido de Radiación Solar en

Arequipa: <https://deltavolt.pe/atlas/atlassolar/radiacion-departamento/>

SENAMHI. (2022). *Pronóstico de radiación UV - modelo numérico*. Obtenido de

Tiempo/radiación UV: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=radiacion-uv-numeric>

SENAMHI. (2022). *Pronóstico de radiación UV máximo (cielo despejado y mediodía solar) en Arequipa*. Obtenido de

<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=radiacion-uv>

SENAMHI. (2022). *Pronóstico de radiación UV máximo (cielo despejado y mediodía solar) en Arequipa*. Obtenido de

<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=radiacion-uv>

SENHAMI. (2003). *DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA ENERGÍA SOLAR INCIDENTE DIARIA EN EL PERÚ*. Obtenido de Distribución anual:

[https://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de\\_Radiacion\\_Solar.pdf](https://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de_Radiacion_Solar.pdf)

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería con Física Moderna*. Mexico: Cengage Learning.

Solar Company Peru. (2021). *SISTEMAS SOLARES AISLADOS E HÍBRIDOS*. Obtenido de

<https://www.solarcompany.pe/sistemas-solares-aislados-e-hibridos-off-grid/>

SolarGis. (11 de Setiembre de 2019). *Atlas Solar Mundial*. Obtenido de

<https://globalsolaratlas.info/detail?c=-16.472963,-71.783295,9&s=-16.378306,-71.560595&m=site>

Sunpal. (2022). Ficha técnica de la Batería litio modelo sp10000u-10kwh Sunpal.

TECNOSOL. (05 de Julio de 2019). *TECNOLOGIA PERC*. Obtenido de

<https://tecnosolab.com/noticias/tecnologia-perc-y-half-cell-en-paneles-solares/>

Trejo Pacheco, L. K. (2019). “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINIPLANTA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN PABLO.”.

*Para optar el Título Profesional de Ingeniera Electricista.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.

Tullyn. (2013). *PV Wire 1000V UL 4703* . Obtenido de <https://www.tullyn.com/product/pv-wire-2000v-ul4703-copy/>

Victron Energy. (2022). Ficha Técnica de Controladores de carga SmartSolar con conexión de rosca o FV MC4 MPPT 150/85 & MPPT 150/100.

Victron Energy. (2022). Ficha técnica del Inversor/cargador multiplus 48/5000/70.

## **PLANOS**