



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



## Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

IV PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL  
EXTRAORDINARIA

## EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

“DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A RED DE 4.5 KW EN EL COMPLEJO POLICIAL LA DESPENSA -EN EL DISTRITO DE JOSÉ LEONARDO ORTIZ - PROVINCIA DE CHICLAYO - LAMBAYEQUE.”

Presentado Por:

Br. JUAN CARLOS PLASENCIA CORONEL

Asesor:

Ing. PERCY NIÑO VÁSQUEZ

LAMBAYEQUE-PERÚ

2018

## **DEDICATORIA**

“El presente trabajo de grado se lo dedico a mi familia, quienes gracias a sus consejos y palabras de aliento crecí como persona. A mis padres, mis hermanos y mi novia por su apoyo, confianza y amor. Gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y estudiante, por ultimo especialmente dedico este trabajo a mi padre Ing. Raúl Plasencia, quien siempre me ha cuidado y me ha apoyado en todo desde el cielo. Para todos ustedes con mucho amor y cariño”

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo, a Dios quien me ha permitido realizar todas las metas que me he propuesto y también este trabajo.

A mi padre, Ing. Raúl Plasencia Plasencia, por estar a mi lado apoyándome desde el cielo.

A mi madre, Isabel Coronel Pérez, por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

A mi hermano, Raúl Andrés Plasencia Coronel, por estar siempre presente, cuidándome brindándome aliento y ser como un padre .

A mi hermana Vivien Pamela Plasencia Coronel, por su apoyo y solidaridad.

A Diana del Pilar Chávez Lingan, por su comprensión y paciencia.

A mi novia, Rosa Valeria Abanto Vílchez, quien siempre ha estado apoyándome desde todos los ámbitos posibles brindándome su amor y cariño.

A mis profesores, quienes gracias a su labor me han permitido realizar este trabajo de grado.

A mis compañeros quienes me han ayudado aportándome ideas para llevar a cabo este proyecto y a todas las personas que dedican parte de su vida a leer este trabajo.

Muchas gracias.

Juan Carlos Plasencia Coronel

## **RESUMEN**

Un sistema fotovoltaico interconectado a red es un tipo de instalación en la que intervienen tres elementos: los paneles fotovoltaicos, el inversor interconectado y la línea eléctrica de la red. El generador fotovoltaico se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través del inversor interconectado, en donde cuando trabaja el generador fotovoltaico de manera automática mediante el inversor interconectado deja de trabajar la red eléctrica convencional .

Este proyecto “Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a red de 4.5 kW en el Complejo Policial la Despensa -en el distrito de José Leonardo Ortiz - provincia de Chiclayo – Lambayeque”, estudia la problemática, diseño, dimensionamiento, rentabilidad económica, para alimentar parte de la demanda de carga en luminarias led. Y está conformada por seis capítulos:

En el primer capítulo se describe el Problema de investigación en donde se ve la realidad problemática, formulación del problema, justificación e importación y objetivos.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico que comprende una breve introducción básica a la electrotecnia, energía solar local, nacional y mundial, radiación solar, tipos de sistemas fotovoltaicos, componentes, elección, ventajas, desventajas de un SFVI y terminología.

En el tercer capítulo se describe el marco metodológico que comprende tipo y diseño de investigación, población y muestra, formulación de la hipótesis, variables y operacionalización, descripción de los instrumentos utilizados, análisis estadístico e interpretación de los datos.

En el cuarto capítulo se describe la propuesta de investigación.

En el quinto capítulo se describe el análisis e interpretación de los resultados que comprende el sistema convencional de generación de energía eléctrica, máxima demanda eléctrica, dimensionamiento, energía eléctrica generada por SFVI, estudio de rentabilidad y discusión de resultados.

En el sexto capítulo se describe las conclusiones, recomendaciones, bibliografía, linkografía y anexos.

El objetivo del presente trabajo es evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema fotovoltaico interconectado (SFVI) en la generación de energía eléctrica, y así proponer que estos sistemas sean implementados en nuestra región, además de contribuir en disminuir emisiones de CO<sub>2</sub>, así mismo capacitar a la población sobre la gran importancia que tiene la energía solar y sus diferentes aplicaciones.

Al realizar el presente trabajo se logró determinar que el sistema fotovoltaico a implementar si es económicamente rentable, satisfaciendo la demanda eléctrica considerada en el proyecto

**Palabras Claves:** Sistema Fotovoltaico, Energía Eléctrica, Radiación Solar, Inversor Interconectado.

## **ABSTRACT**

A photovoltaic system connected to the network is a type of installation that involves three elements: photovoltaic panels, the interconnected inverter and the power line network. The photovoltaic generator is connected to the mains via the inverter conventional interconnected, where when you work the photovoltaic generator automatically using the interconnected inverter stops working the conventional electric network

This project "Design of a photovoltaic system with interconnected network of 4.5 kW in the Complex Police the Pantry - In the district of Jose Leonardo Ortiz - province of Chiclayo", study the problem, design, sizing, and economic profitability, to feed part of the load demand in led luminaires. And is composed of six chapters:

In the first chapter describes the research problem in where you see the problematic reality, formulation of the problem, rationale and objectives.

In the second chapter describes the theoretical framework that includes a brief introduction to basic electrical engineering, solar energy, local, national and global levels, solar radiation, types of photovoltaic systems, components, choice, advantages, disadvantages of a SFVI and terminology.

In the third chapter describes the methodological framework that includes type and design of research, population and sample, formulation of the Hypothesis, variables,

and operationalization, description of the instruments used, statistical analysis and interpretation of the data.

In the fourth chapter describes the research proposal.

In the fifth chapter describes the analysis and interpretation of the results that comprises the conventional system of electric power generation, maximum power demand, sizing, electric power generated by SFVI, profitability study and discussion of results.

In the sixth chapter describes the findings, recommendations linkografia, bibliography, and annexs.

The objective of this study is to evaluate technically and economically the implementation of a photovoltaic system SFVI (grid) in the generation of electrical energy, and thus propose that these systems are implemented in our region, in addition to contributing to reduce CO<sub>2</sub> emissions, as well as train the population on the importance of solar energy and its various applications.

To make this work, it was determined that the photovoltaic system to implement if it is economically profitable, satisfying the demand for electricity is considered in the project

Key word: Photovoltaic System, Electric Power, Solar Radiation, interconnected world.

## INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT .....	V
INDICE DE TABLAS .....	XI
INDICE DE FIGURAS .....	XII
INTRODUCCION.....	XIII
CAPITULO I .....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	1
1.1.-REALIDAD PROBLEMÁTICA.-.....	1
1.2.-FORMULACION DEL PROBLEMA.- .....	2
1.3.-DELIMITACION DE LA INVESTIGACIÓN.-.....	2
1.4.-JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.-.....	2
1.5.-LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.- .....	3
1.6.-OBJETIVOS.- .....	3
1.6.1.-Objetivo general. ....	3
1.6.2.-Objetivos específicos. ....	3
CAPITULO II .....	4
MARCO TEORICO.....	4
2.1.-ANTECEDENTES.....	4



<b>2.2.-NOCIONES BASICAS DE ELECTROTECNIA.....</b>	<b>5</b>
2.2.1.-Introduccion y descripción general.....	5
2.2.2.-Magnitudes y unidades. ....	6
2.2.3.-Principales formulas.....	9
2.2.4.-Conexionado.....	12
<b>2.3.-ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>13</b>
2.3.1.-Energia Solar En El Mundo.....	13
2.3.2.-Energia Solar En El Perú.....	14
2.3.3.-Energia Solar En Lambayeque. ....	15
<b>2.4.- RADIACION SOLAR. ....</b>	<b>17</b>
2.4.1.-Geometria solar. ....	19
2.4.2.-Coordenadas celestes horarias.....	20
2.4.3.-Recorrido solar. ....	21
2.4.4.-Horas sol pico.....	22
<b>2.5.-PANEL FOTOVOLTAICO. ....</b>	<b>23</b>
2.5.1.-Celula fotovoltaica. ....	24
2.5.2.-Parametros característicos. ....	28
2.5.3.-Curvas características.....	28
2.5.4.-Efecto sombra.....	30
2.5.5.-Efecto fotovoltaico.....	31
<b>2.6.-SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS. ....</b>	<b>34</b>
2.6.1.-Sistemas Fotovoltaicos Aislados o Autónomos. ....	35
2.6.2.-Sistemas de Conexión a la Red (ON-GRID).....	36
2.6.3.-Instalaciones Híbridas.....	41
<b>2.7.-COMPONENTES DEL SISTEMA CONECTADO A LA RED.....</b>	<b>41</b>
2.7.1.-Generador Fotovoltaico. ....	42
2.7.2.-Inversores.....	42
2.7.3.-Bloque de cableado. ....	53
2.7.4.-Bloque de control.....	54
2.7.5.-Bloque de carga.....	58

2.8.-ELECCION DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS. ....	58
2.8.1.-Orientacion de los Paneles.....	58
2.8.2.-Inclinacion de los Paneles.....	59
2.8.3.-Distancia mínima entre filas de Paneles.....	61
2.8.4.-Calculo de número de paneles. ....	61
2.9.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. ....	62
2.10.- DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA. ....	63
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>66</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>66</b>
3.1.-TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	66
3.2.-POBLACIÓN Y MUESTRA. ....	66
3.3.-FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	67
3.4.-VARIABLES- OPERACIONALIZACIÓN. ....	67
3.5.-METODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACION. ....	69
3.5.1.-Métodos de investigación.....	69
3.5.2.-Técnicas de investigación. ....	69
3.6.-DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS. ....	70
3.7.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	70
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>72</b>
<b>PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>72</b>
4.1.-PROPUESTA DE ESTUDIO. ....	72
4.2.-DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO. ....	73
<b>CAPITULO V</b> .....	<b>74</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	<b>74</b>
5.1.-SISTEMA CONVENCIONAL DE GENERACION ELECTRICA. ....	74
5.2.-MÁXIMA DEMANDA ELÉCTRICA. ....	75

<b>5.3.-SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.</b>	78
5.3.1.-Ubicación y Radiación solar de la zona.	80
5.3.2.-Características y especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.	82
5.3.3.-Selección del inversor.	83
5.3.4.-Cableado.	86
5.3.5.-Puesta a tierra de la instalación fotovoltaica conectada a red.	99
<b>5.4.-ENERGIA ELECTRICA GENERADA- SFVI.</b>	101
<b>5.5.-ESTUDIO DE RENTABILIDAD SFVI.</b>	103
5.5.1.-Presupuesto de la instalación.	103
5.5.2.-Flujo de caja proyectado.	105
5.5.3.-Rentabilidad del proyecto.	107
5.5.4.-Valor Actual Neto (VAN)	108
5.5.5.-Tasa Interna de Retorno (TIR).	109
<b>5.6.-DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b>	110
<b>CAPÍTULO VI.</b>	111
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	111
6.1.-CONCLUSIONES.	111
6.2.-RECOMENDACIONES.	114
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	115
BIBLIOGRAFÍA.	115
LINKOGRAFÍA.	117
<b>ANEXOS</b>	118
<b>ANEXO A:</b> Plano de Ubicación.	118
<b>ANEXO B:</b> Plano de montaje del sistema fotovoltaico (SFVI).	119
<b>ANEXO C:</b> Plano de diagrama unifilar del sistema fotovoltaico (SFVI).	120
<b>ANEXO D:</b> Radiación solar, Atlas solar del Perú.	122
<b>ANEXO E:</b> Especificaciones técnicas de panel solar.	123
<b>ANEXO F:</b> Especificaciones técnicas de inversor interconectado.	124

<b>ANEXO G:</b> Plano de luminarias.....	125
<b>ANEXO H:</b> Pliego tarifario máximo del servicio público de electricidad.....	126

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.-Declinaciones Características Mensuales. ....	21
Tabla 2.-Eficiencia de células fotovoltaicas. ....	27
Tabla 3.-Descripción de la variable dependiente e independiente.....	68
Tabla 4: Técnicas e instrumentos en la investigación. ....	70
Tabla 5.-Costo Anual -Sistema Convencional.....	75
Tabla 6.-Máxima Demanda en luminarias. ....	76
Tabla 7: Datos de radiación solar – Distrito José Leonardo Ortiz. ....	81
Tabla 8.-Promedio de radiación solar -HPS. ....	82
Tabla 9.-Características Mecánicas Panel Fotovoltaico. ....	82
Tabla 10.-Especificaciones técnicas Panel Fotovoltaico.....	83
Tabla 11.-Especificaciones técnicas del inversor FRONIUS SYMO 4.5-3-S. ....	86
Tabla 12.-Características de circuitos eléctricos en el SFCR. ....	88
Tabla 13.-Tabla de datos técnicos THW-90. ....	90
Tabla 14.-Tabla de datos técnicos THW-90/AWG.....	91
Tabla 15.-Sección y longitud de conductores THW-90 en sfc. ....	99
Tabla 16.-Energía generada SFCR.....	102
Tabla 17.-Inversión Total del SFVI. ....	103
Tabla 18.-Vida útil de los equipos del SFVI.....	106
Tabla 19.-Costo por Mantenimiento y Operación anual. ....	106
Tabla 20.-Resumen de Caja de Flujo.....	106
Tabla 21: Valor Anual Neto del proyecto. ....	108
Tabla 22: Tasa Interna de Retorno del proyecto.....	109

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.- Atlas Solar del Perú -Región Lambayeque.....	16
FIGURA 2.- Esquema de Distribución de Radiación .....	17
FIGURA 3.-Mapa de Irradiación Horizontal de Latinoamérica y el caribe .....	18
FIGURA 4.-Geometría solar.....	19
FIGURA 5.-Coordenadas Celestes Horarias.....	20
FIGURA 6.-Valores Referenciales de Aire-Masa en función de la altura Solar. ....	22
FIGURA 7.-Concepto de horas sol pico.....	22
FIGURA 8.-Fabricación de la célula y el panel fotovoltaico. ....	24
FIGURA 9.-Funcionamiento célula silicio. ....	25
FIGURA 10.-Árbol de Tecnologías Fotovoltaicas. ....	26
FIGURA 11.-Tecnologías Fotovoltaicas más comunes.....	27
FIGURA 12.-Curva I vs V / P vs V.....	29
FIGURA 13.-Efecto de la Temperatura.....	29
FIGURA 14.-Efecto de radiación en panel 50 Wp EverExceed.....	30
FIGURA 15.-Distanciamiento entre filas de módulos fotovoltaicos. ....	31
FIGURA 16.-Esquema de Sistemas fotovoltaicos. ....	34
FIGURA 17.-Sistema Aislado. ....	36
FIGURA 18.-Sistema conectado a red.....	37
FIGURA 19.-Edificio con fachada fotovoltaica. ....	39
FIGURA 20.-Huerto solar fotovoltaico.....	40
FIGURA 21.-Sistema Hibrido.....	41
FIGURA 22.-Clasificación de los inversores. ....	48
FIGURA 23.-Esquema de Aislamiento en baja frecuencia. ....	49
FIGURA 24.-Esquema de Aislamiento de alta frecuencia. ....	49
FIGURA 25.-Esquema sin aislamiento galvánico. ....	50
FIGURA 26.-Esquema de inversor central. ....	50
FIGURA 27.-Esquema de inversor modular.....	51
FIGURA 28.-Esquema de inversores integrados.....	52
FIGURA 29.-Esquema de un inversor con bloque de control.....	55
FIGURA 30.-Representación del ángulo Azimut (Z) y altura solar (A).....	59
FIGURA 31.-Angulo de inclinación de un panel solar. ....	60
FIGURA 32.-Diseño de instalación de paneles solares. ....	61
FIGURA 34.-Latitud y longitud “Complejo Policial La Despensa”. ....	80
FIGURA 40.-Representación esquemática de Puesta a tierra. ....	100

## INTRODUCCION

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas. Entre las fuentes de energía renovable de mayor potencia figura la energía solar, disponible en todo el mundo y catalogada como un recurso universal que no tiene costo.

En la actualidad, la utilización a gran escala de combustibles fósiles y nucleares es una de las principales características de lo que se conoce como una sociedad industrializada. El impacto ambiental ocasionado por la manipulación y transformación de las distintas fuentes de energía convencionales, ha generado un nuevo marco diferente al que se produjo durante la crisis energética del petróleo del año 1973, el calentamiento global de la tierra el agujero de la capa de ozono, la lluvia acida, la desertización, el almacenaje de los residuos radiactivos, etc., han propiciado que las sociedades industrializadas tomen conciencia. En este sentido, los gobiernos emiten y promulgan leyes en el sector energético, cada vez más restrictivas en cuanto a criterios ambientales, lo que permite pensar en un papel preponderante de las energías renovables como la esperada solución que debería conducir en el siglo XXI hacia lo que muchos han denominado como “desarrollo sostenible”.

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION.**

#### **1.1.-REALIDAD PROBLEMÁTICA.-**

La crisis energética es un problema que a todos nos afecta, un ejemplo de esto es el aumento de los costos de la energía eléctrica. Es por esto que desde un tiempo a esta parte ha surgido un gran interés por buscar alternativas que permitan reducir estos costos, y para esto pueden existir dos caminos: el primero es usar de forma eficiente y consciente la energía, esto a través de dispositivos eléctricos y electrónicos eficientes, aplicando medidas de ahorro como por ejemplo apagando las luces que no se están utilizando, etc. El segundo camino es utilizar algún tipo de energía alternativa disponible de forma natural (solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc.) y que pueda ser aprovechada para convertirla en energía eléctrica. Pues bien, el problema que aquí se plantea está dado por el elevado consumo de energía eléctrica a causa del mal aprovechamiento de esta, junto con la dependencia de centrales hidroeléctricas o de aquellas que utilizan combustibles para la generación de electricidad, para lo cual es necesario buscar una forma alternativa de abastecimiento técnicamente factible y económicamente viable que permita reducir el consumo y los costos por este concepto y aparte tener en cuenta el medio ambiente.

## **1.2.-FORMULACION DEL PROBLEMA.-**

¿Es posible utilizar la energía solar en un sistema fotovoltaico interconectado a red en el complejo policial la despensa?

## **1.3.-DELIMITACION DE LA INVESTIGACIÓN.-**

El trabajo de investigación se realizó en el “Complejo Policial La Despensa” ubicado dentro del mercado regional La Despensa, distrito de José Leonardo Ortiz y provincia de Chiclayo, propiedad del Sr. Fernando Pérez Silva.

El “Complejo Policial” es un área de terreno donado en donde se construirá dicho Complejo Policial, en donde está próximo a su construcción. La duración de la investigación fue en un tiempo de 4 meses, en donde participo el autor del presente trabajo de investigación.

## **1.4.-JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.-**

Nuestro proyecto está dirigido al complejo policial La Despensa, Región Policial, el SFVI está basada en tecnología fotovoltaica, es una aplicación de mucha importancia. Con este proyecto se pretende incursionar en el mundo de la energía solar por ser una fuente limpia cuyo impacto al ambiente es mínimo y por otro lado es el ahorro de energía eléctrica. A su vez la energía solar es sana para el hombre, porque además de que no contamina, es absolutamente silenciosa.

El uso de la energía solar viene tomado de la mano con el concepto de desarrollo sustentable el cual consiste en utilizar los recursos del medio ambiente posible,



de manera que futuras generaciones también puedan disfrutar de dichos recursos.

### **1.5.-LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.-**

Escasa información de los diferentes gastos de dinero utilizando el sistema de generación eléctrica convencional, ya que no cuenta con registros de consumo.

Escasa bibliografía para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a red.

### **1.6.-OBJETIVOS.-**

#### **1.6.1.-Objetivo general.**

Elaborar una propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red en el Complejo Policial La Despensa -en el Distrito de José Leonardo Ortiz - Provincia de Chiclayo - Lambayeque. El sistema deberá poder abastecer la carga existente durante horas sol, en donde se trabajara con un inversor interconectado de 4.5 kW y el sistema eléctrico que es ENSA; dicha fuente eléctrica se aprovechará como una fuente de respaldo para el sistema interconectado.

#### **1.6.2.-Objetivos específicos.**

- Caracterizar el potencial solar en el complejo policial.
- Dimensionar el SFICR
- Realizar el diagrama unifilar del SFVI.
- Estimar la factibilidad económica del sistema.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1.-ANTECEDENTES.**

##### **Contexto Internacional.-**

Existen proyectos innovadores los cuales utilizan paneles solares en donde:

**Ignacio O'connor Arayo;** en su trabajo de fin de grado en ingeniería de la energía: “Diseño de Instalación Fotovoltaica Interconectada en el Colegio Eduardo Martínez Ródenas de Benicarló, Castellón”. En donde dicha instalación generará energía eléctrica suficiente para cubrir un porcentaje considerable de la demanda eléctrica suponiendo una mejora de cara al desarrollo sostenible del municipio y obteniendo además cierto ahorro en la factura eléctrica.<sup>1</sup>

**Ricardo Marcos Sevil;** en su tesis de Ingeniería “Aprovechamiento de la energía solar para la producción de electricidad en el nuevo edificio de la E.T.S.E situado en Sant Pere Sescelades” realizó un estudio para compensar el coste de la facturación eléctrica del nuevo edificio. El autor de este trabajo determinó un sistema de aprovechamiento de 18 Kw de energía solar para producir energía eléctrica mediante paneles solares y así reducir los costos de facturación.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Ignacio O'connor Arayo; en su trabajo de fin de grado en ingeniería de la energía: “Diseño de Instalación Fotovoltaica Interconectada en el Colegio Eduardo Martínez Ródenas de Benicarló, Castellón”. Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia.

<sup>2</sup> Ricardo Marcos Selvi, “Aprovechamiento de la energía solar para la producción de electricidad en el nuevo edificio de la E.T.S.E situado en Sant Pere Sescelades” (Tesis de Ingeniería, Universidad Internacional de Andalucía, 2014).

## **Contexto Nacional.-**

**Paulo Valdiviezo Salas**; en su tesis de Ingeniería “Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP” han realizado una investigación que consistió en la aplicación de las energías renovables, una energía que abunda y que poco se utiliza como medios de generación en nuestro país. El autor determinó un sistema fotovoltaico para una demanda de energía eléctrica máxima de 798 W, el cual corresponde a la carga de 15 laptop, además el autor ha considerado que el periodo de carga de las laptops será de 5 horas de uso al día, la cual permitió dimensionar y seleccionar los principales componentes del sistema fotovoltaico; para este cálculo se consideró una radiación mínima de 1,048 Kw.h/m<sup>2</sup> en el mes más crítico (Agosto) en la zona del proyecto.<sup>3</sup>

## **2.2.-NOCIONES BASICAS DE ELECTROTECNIA.**

En esta sección se recogen las nociones básicas de electrotecnia que serán necesarias para la posterior comprensión de los sistemas fotovoltaicos.<sup>4</sup>

### **2.2.1.-Introduccion y descripción general.**

La electrotecnia es la ciencia que estudia las aplicaciones prácticas de la electricidad así como del electromagnetismo. Por tanto, esta ciencia analiza

---

<sup>3</sup> Paulo Valdiviezo Salas, “Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP” (tesis de ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013).

<sup>4</sup> Principios básicos de electrotecnia (en papel) isbn 9788426717726 – jose miguel molina martinez , s.a. marcombo, 2011.

cómo se pueden aplicar los principios de la electricidad y del magnetismo a la actividad humana tanto en el ámbito doméstico como en el ámbito de la industria. Es por ello que para ser capaces de comprender<sup>3</sup> el funcionamiento de un sistema fotovoltaico es necesario comprender las nociones básicas de esta ciencia.

#### **2.2.1.1-CC/CA**

Antes de analizar las distintas magnitudes y leyes de la electrotecnia es importante tener claras las diferencias entre la corriente continua y la corriente alterna. La corriente continua es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. A diferencia de la corriente alterna, en la corriente continua las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección (es decir, los terminales de mayor y de menor potencial son siempre los mismos). Es por ello por lo que comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería).

#### **2.2.2.-Magnitudes y unidades.**

En esta subsección se explican las principales magnitudes de electrotecnia, así como las unidades de las mismas.

##### **La carga eléctrica:**

Es una de las propiedades energéticas de la materia y se supone asociada a dos partículas subatómicas: protones con carga positiva y electrones con carga negativa. En términos generales la materia tiende a ser eléctricamente

neutra. No obstante, en caso de que existan más partículas de un signo que de otro, el objeto estará eléctricamente cargado. La unidad internacional de carga eléctrica es el CULOMBIO (C).

### **La corriente eléctrica:**

Se entiende por corriente eléctrica al flujo de electrones que atraviesan el conductor. Para entender bien este concepto vamos a asemejar el comportamiento de la corriente eléctrica al del caudal de un río. En un río el agua se desplaza del punto más alto al punto más bajo. Cuanto mayor es la diferencia entre estos dos puntos mayor es la corriente del río. En el caso de la corriente eléctrica el comportamiento es similar. Los electrones se desplazan del punto de mayor al punto de menor tensión. Así mismo, cuanto mayor sea esta diferencia mayor será la potencia eléctrica. La unidad de corriente también llamada Intensidad, es el AMPERIO. (A).

### **Tensión:**

Para que exista corriente eléctrica es necesario que exista una diferencia de tensión. A esta diferencia de tensiones se le conoce como diferencia potencial. Así mismo, para que haya un flujo de agua se necesita presión. Esta presión puede ser debida a un tanque de agua en donde la presión quedaría determinada por la altura del líquido. La unidad de medida es el VOLTIO (V).

**Resistencia:**

La oposición que presenta el conductor al flujo de corriente se mide con la resistencia. La resistencia es directamente proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su sección. Esto es:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Siendo:

R = resistencia del conductor en ohmios.

L= longitud del conductor.

S= área de la sección transversal.

$\rho$ = constante conocida como resistencia específica, la cual dependerá del material del conductor.

La unidad de medida es el Ohmio ( $\Omega$ ). Un Ohmio es la resistencia que presenta un conductor entre dos puntos cuando al ser recorrido por una corriente constante de intensidad de 1 Amperio (A) se produce una diferencia de potencia de 1 Voltio (V)

**Conductancia:**

En determinadas circunstancias resulta más útil manejar la inversa de la resistencia. Esta se conoce como conductancia.

$$G = \frac{1}{R}$$

La unidad de medida es el Siemens (S) - Representando la conductancia eléctrica que presenta un conductor cuya resistencia eléctrica es  $1\Omega$ .

**Potencia eléctrica:**

La potencia intercambiada entre dos puntos a y b de un circuito es igual al producto de la tensión entre a y b expresada en V y la intensidad desde a hacia b expresada en A. La dimensión es el vatio (W) .Es importante destacar en este punto que la ley de Joule nos proporciona el valor de la potencia eléctrica transformada en calor en una resistencia.

$$P_{ab} = U_{ab} I_{ab}$$

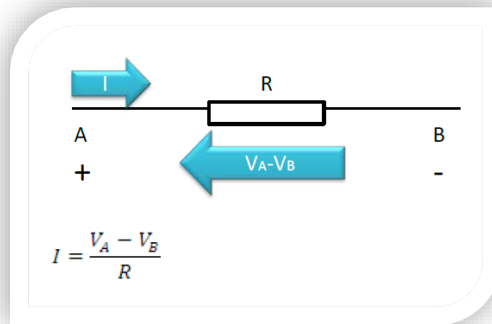
$$P = RI^2$$

**2.2.3.-Principales formulas.**

En esta subsección se presentan las principales leyes de la electrotecnia y sus respectivas fórmulas. Una vez conocidas estas fórmulas se puede resolver cualquier tipo de circuito eléctrico.

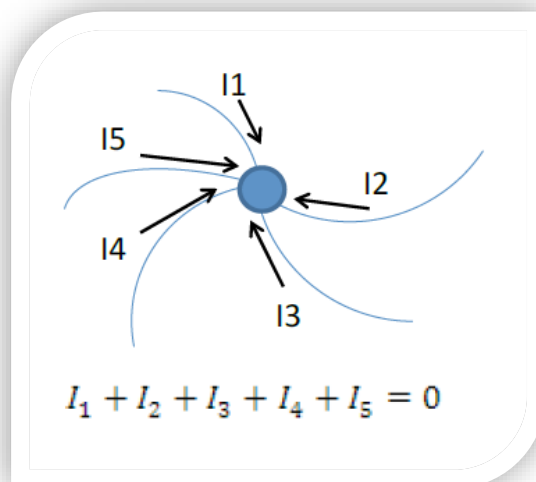
**Ley de OHM:**

Ohm descubrió que la corriente eléctrica entre dos puntos se podía calcular como la diferencia de potencial entre dichos puntos entre la resistencia que opone el conductor. Para que la expresión matemática de la ley de ohm sea aplicable, es preciso indicar los sentidos considerados como positivos tanto de la intensidad como de la tensión. Los sentidos naturales de estas dos magnitudes son los siguientes. La intensidad circula siempre desde el punto de mayor tensión al de menor tensión.



### Primera ley de Kirchhoff:

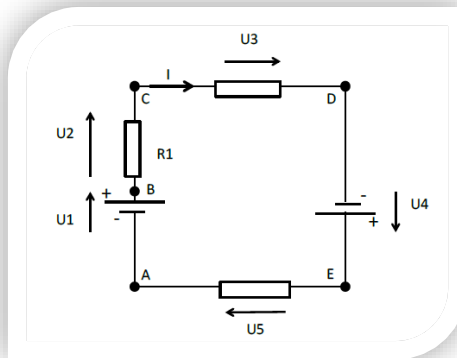
Cuando varios conductores concurren a un punto, más conocido como nudo, la suma de las intensidades que entran al nudo tiene que ser cero. Para entender bien el significado de esta ley a continuación se presenta un ejemplo que se muestra en la siguiente figura. Como se ve en la figura a todos los conductores se les ha asignado el sentido entrante y de acuerdo con esta ley, su suma ha de ser cero.





### Segunda ley de Kirchhoff:

En un subconjunto de elementos, tanto generadores como conductores, interconectados en bucle cerrado (esto es, formando un circuito cerrado), el valor de la suma de todas las tensiones, consideradas en un mismo sentido de rotación, es nula. Para entender bien el significado de esta ley, a continuación se presenta el siguiente ejemplo.



Aplicando la segunda ley de Kirchhoff obtenemos la siguiente ecuación:

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 = 0$$

La suma de las tensiones en sentido horario también se pueden expresar como diferencia entre los potenciales de los puntos extremos de cada uno de los puntos, esto es:

$$U_1 = V_B - V_A; \quad U_2 = V_C - V_B; \quad U_3 = V_D - V_C; \quad U_4 = V_E - V_D; \quad U_5 = V_A - V_E.$$

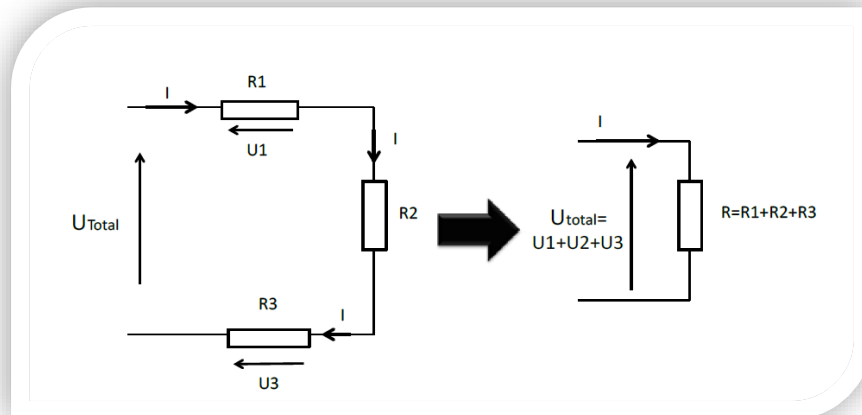
De igual modo, la suma de estos términos también será igual a cero

#### 2.2.4.-Conexionado.

Una vez analizadas las leyes fundamentales de la electrotecnia, en esta subsección se presentan los dos modos de conexionado que existen.

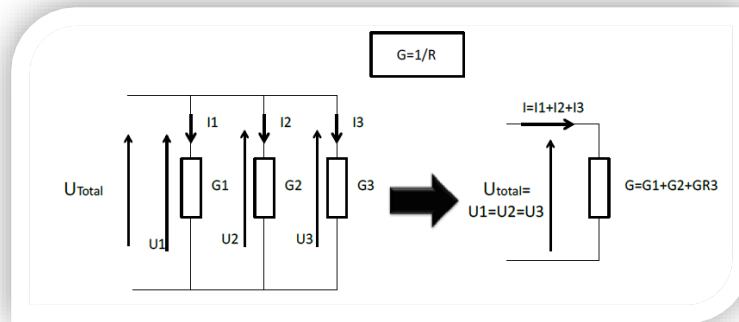
##### **Conexionado de elementos en serie:**

Se denomina conexionado en serie de dos a más elementos a aquella conexión que implica la igualdad de las intensidades de todos los elementos. A continuación se muestra un esquema sencillo para analizar el comportamiento de un conjunto de elementos conectados en serie.



##### **Conexionado de elementos en paralelo:**

Se denomina conexionado en paralelo de dos a más elementos a aquella conexión que implica la igualdad de las tensiones de todos los elementos. A continuación se muestra un esquema sencillo para analizar el comportamiento de un conjunto de elementos conectados en paralelo.



## 2.3.-ENERGIA SOLAR.

La energía solar, se define como la energía obtenida mediante la captación de luz y calor emitidos por el sol, los cuales son producidos por reacciones nucleares en el interior del mismo y transmitidos en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio.<sup>5</sup>

Esta energía es universal y gratuita, es una de las llamadas energías renovables, catalogada como no contaminante, también llamada energía limpia o energía verde, su captación es directa y fácil.

### 2.3.1.-Energía Solar En El Mundo.

La Energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan.

<sup>5</sup> Edgar Vivar, Tipos de energía, octubre del 2012, <http://www.monografias.com/trabajos84/tipos-energias.shtml>

Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países, que, como España, han propiciado un gran incremento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología. A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), de los cuales cerca de 29.000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga.<sup>6</sup>

### **2.3.2.-Energía Solar En El Perú.**

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 Kw.h/m<sup>2</sup> día en la costa y selva y de 5-6 Kw.h/m<sup>2</sup> día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable.

---

<sup>6</sup> Suelo solar, Situación actual de la energía solar fotovoltaica en el mundo según el Plan de Energías Renovables PER 2011-2020. <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6209>

La energía solar se puede transformar con facilidad en calor: de hecho, cualquier cuerpo, preferentemente de color negro, absorbe la energía solar y la transforma en calor, que puede ser usado para calentar ambientes, calentar agua (termas solares), secar diversos productos, cocinar, etc.

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad.

La fabricación de los paneles fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo.<sup>7</sup>

### **2.3.3.-Energía Solar En Lambayeque.**

La energía solar en Lambayeque actualmente se aprovecha en forma individual en algunos hogares aislados, mediante el uso de paneles fotovoltaicos, cuyo uso básico es para el alumbrado domiciliario y alimentación de equipos de radio y televisión.

La Energía Fotovoltaica, convierte directamente la luz que recibimos del sol en electricidad, gracias al efecto fotoeléctrico del silicio que compone los módulos fotovoltaicos. El "Atlas Solar del Perú" fue desarrollado por la MEM/DEP (ahora DPR) y SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) en junio

---

<sup>7</sup> Universidad Nacional de Ingeniería, Los retos energéticos del Perú, El estado actual del uso de la energía solar en el Perú.

<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energia%20solar%20en%20Peru%20perueconomico.pdf>

del 2003. El Atlas fue desarrollado como parte del "Proyecto PER/98/G31: Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú" financiado por el Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El atlas indica una elevada radiación solar anual en la Sierra de aproximadamente 5.5 a 6.5 Kw.h/m<sup>2</sup>, y 5.0 a 6.0 Kw.h/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 Kw.h/m<sup>2</sup>. De acuerdo a la información obtenida de la NASA (promedio mensual de insolación incidente sobre una superficie horizontal del periodo Julio 1983 -Junio 2005) indica que los valores medios anuales varía de 4.08 a 5.18 Kw/m<sup>2</sup>/día.

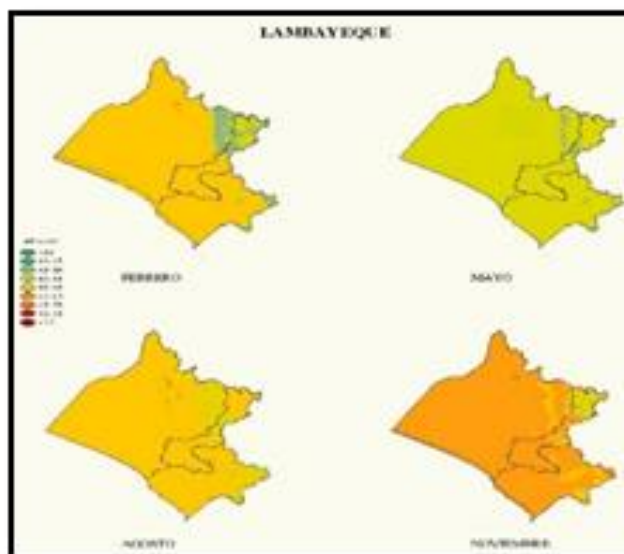


FIGURA 1.- Atlas Solar del Perú -Región Lambayeque<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Fuente: <http://deltavolt.pe/phocadownload/Piura.jpg>

## 2.4.- RADIACION SOLAR.

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

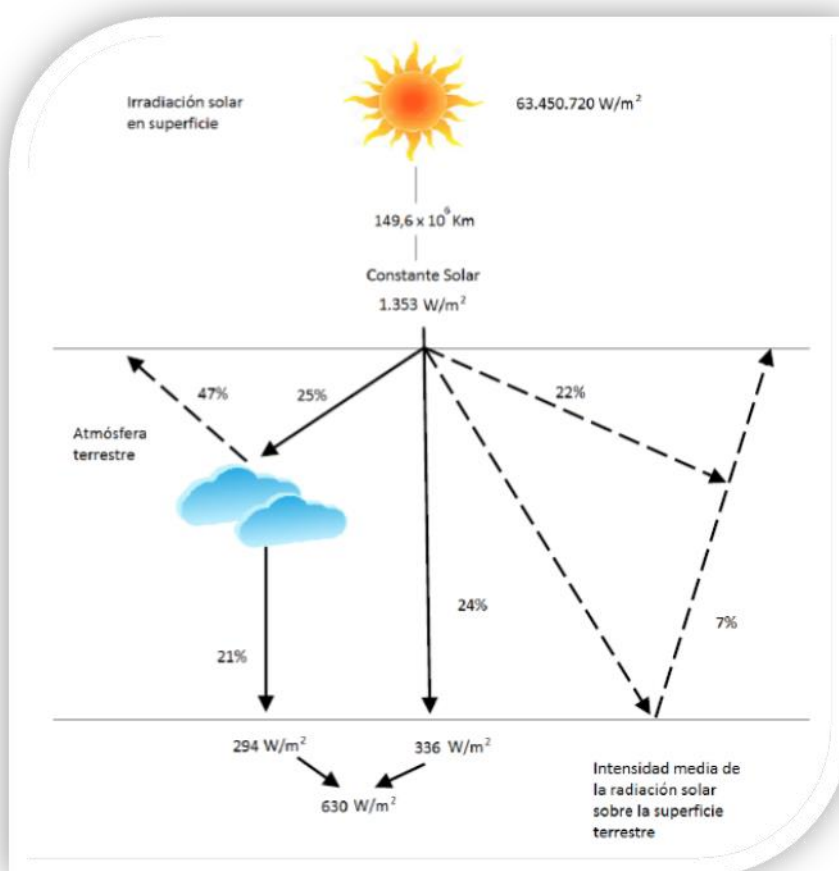


FIGURA 2.- Esquema de Distribución de Radiación<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Instituto Geofísico del Perú. Título: "Meteorología Descriptiva". Autor: Juan Carlos Inzunza B.

<sup>10</sup> "Energía Solar Fotovoltaica" 4ta Edición. Autor: Javier Méndez Muñiz.

Existen tres componentes de la radiación solar:

**Directa:** Es la que proviene del sol, sin desviar su paso por la atmósfera.

**Difusa:** Sufre cambios debidos a la reflexión difusión en la atmósfera.

**Albedo:** Es la que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, puede ser directa o difusa.

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico. El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la Figura 3.



FIGURA 3.-Mapa de Irradiación Horizontal de Latinoamérica y el caribe<sup>11</sup>

<sup>11</sup> “GeoModel Solar” es un consultor técnico con bases de datos online de mapas y servicios.  
<http://geomodelsolar.eu>.



### 2.4.1.-Geometría solar.

Conocer la geometría solar es fundamental para poder estimar la cantidad de energía que se pueda aprovechar por un panel fotovoltaico y la disposición óptima del mismo.

La orientación se define mediante el ángulo Azimut ( $\Psi$ ), como se observa en la figura 4, el Azimut se define como el ángulo que forma la dirección sur con el objeto. (Positivo hacia el oeste).

La altura del sol ( $\alpha$ ) varía de acuerdo a las estaciones, este parámetro es importante, ya que aporta en la creación de sombras y en la irradiación recibida por el módulo. Se mide a partir del horizonte, con un valor de  $0^\circ$  y es positivo en el cenit.

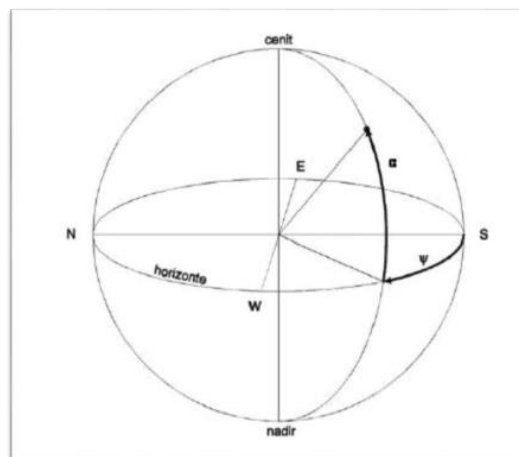


FIGURA 4.-Geometría solar.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Radiación Solar, medidas y cálculos. Autor: Valeriano Ruiz Hernández y Manuel A. Silva Pérez. Universidad de Sevilla 2005

### 2.4.2.-Coordenadas celestes horarias.

Debido a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, se debe dar un seguimiento al sol a lo largo de los días, ya que su posición relativa varía.

Se deben definir dos parámetros importantes:

**Ángulo horario**,  $\omega$ , se mide sobre el ecuador a partir del punto de intersección entre el meridiano superior del lugar y aquel, de  $0^\circ$  a  $\pm 180^\circ$ , positivamente hacia el oeste.

**Declinación**,  $\delta$ , es el arco del círculo horario que pasa por el sol, comprendido entre el ecuador y éste. Se cuenta a partir del ecuador de  $0^\circ$  a  $\pm 90^\circ$ , positivamente hacia el polo Norte y negativamente hacia el polo Sur.

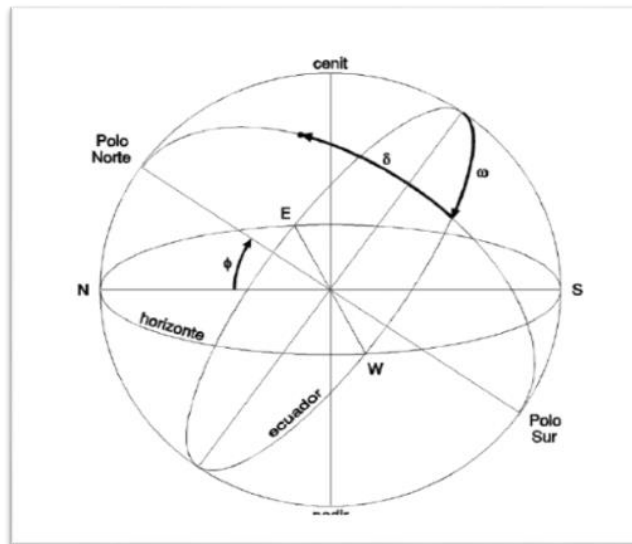


FIGURA 5.-Coordenadas Celestes Horarias.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Radiación Solar, medidas y cálculos. Autor: Valeriano Ruiz Hernández y Manuel A. Silva Pérez. Universidad de Sevilla 2005.

En la Tabla 1, se muestra una declinación típica para cada mes. Esta es válida en todo el mundo y se ha tomado basada en un día, el cual se indica en la otra columna.

Tabla 1.-Declinaciones Características Mensuales.<sup>14</sup>

Mes	Día del año	Declinación
Enero	17	-20,084
Febrero	45	-13,032
Marzo	74	-2,040
Abril	105	+9,046
Mayo	135	+18,078
Junio	161	+23,004
Julio	199	+21,011
Agosto	230	+13,028
Septiembre	261	+1,097
Octubre	292	-9,084
Noviembre	322	-19,002
Diciembre	347	-23,012

### 2.4.3.-Recorrido solar.

Es evidente que mientras menor sea la distancia del sol, mayor será la radiación solar. Esto ocurre cuando el sol se encuentra más cerca de la Tierra, es decir,  $\alpha = 90^\circ$ . Es necesario definir el concepto de masa de aire (AM), es una medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera.

Se obtiene la masa de aire mediante la siguiente fórmula:

$$AM=1/(\cos 90^\circ - \alpha)$$

<sup>14</sup> "Radiación Solar: medidas y cálculos". Autor: Valeriano Ruiz Hernández y Manuel A. Silva Pérez. Universidad de Sevilla 2005.

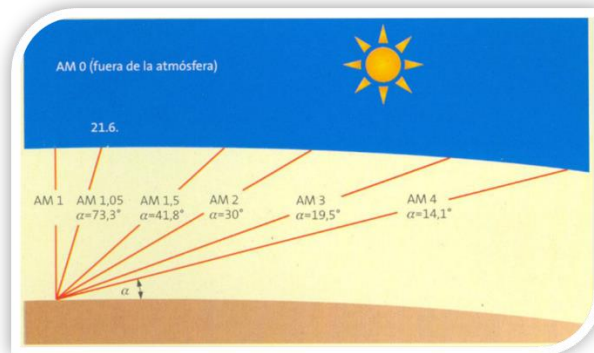


FIGURA 6.-Valores Referenciales de Aire-Masa en función de la altura Solar.

#### 2.4.4.-Horas sol pico.

Las horas de sol pico son las horas se definen como el número de horas al día con una irradiación hipotética de  $1000 \text{ w/m}^2$  que sumen la misma irradiación total que la real ese día. Se puede notar que cuando la irradiación se expresa en  $\text{kW} - \text{h/m}^2$  es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la figura 7.

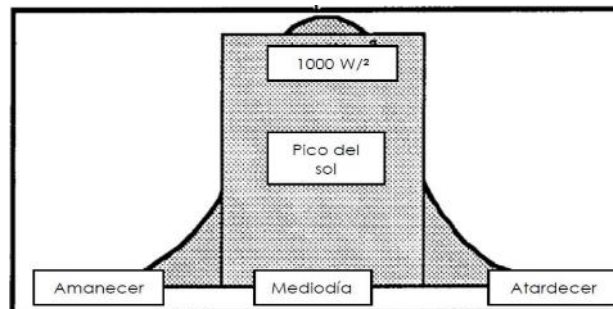


FIGURA 7.-Concepto de horas sol pico.

## 2.5.-PANEL FOTOVOLTAICO.

Un panel fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje. Para ensamblar un panel fotovoltaico, se cuentan con plantas que deben estar certificadas con altos estándares de calidad sobretodo en soldadura. Se utilizan principalmente, metales (buenos conductores) y vidrios. En la figura 8, se muestra la composición de la célula fotovoltaica a la izquierda y el panel fotovoltaico a la derecha. Es un requisito que los módulos se fabriquen de acuerdo a la norma internacional IEC- 61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación de tipo” o equivalente.<sup>15</sup>

Dicha norma establece las pruebas necesarias para evaluar los siguientes aspectos:

- a. Diagnóstico
- b. Requerimientos eléctricos
- c. Parámetros de rendimiento
- d. Requerimientos térmicos
- e. Requerimientos de irradiación
- f. Requerimientos de ambientales

---

<sup>15</sup> “Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp” Minem 2005.

g. Requerimientos de mecánicos

h. Protecciones

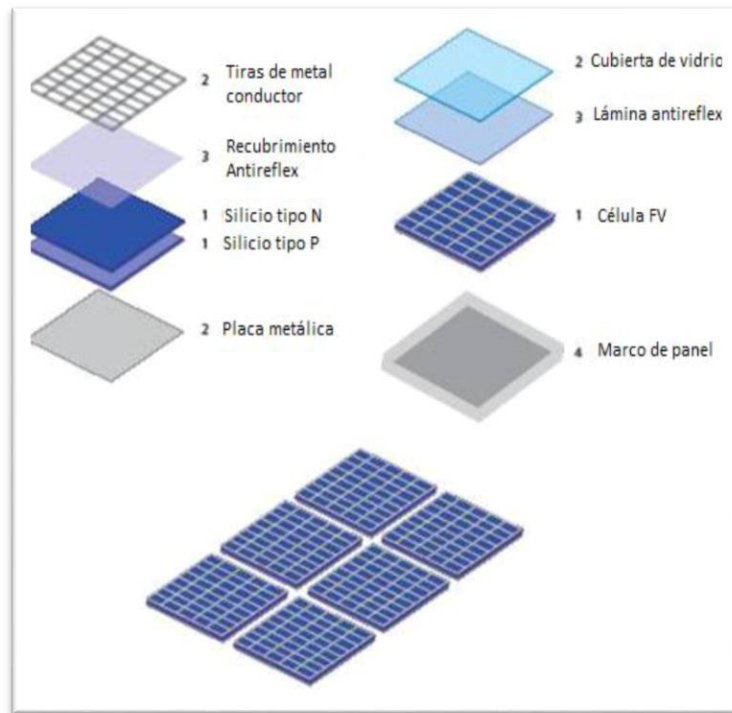


FIGURA 8.-Fabricación de la célula y el panel fotovoltaico.<sup>16</sup>

### 2.5.1.-Célula fotovoltaica.

El componente principal de los paneles fotovoltaicos es la célula, su funcionamiento es el que hace posible la obtención de electricidad a partir de luz solar. Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones

<sup>16</sup> ) "Photovoltaic Technologies" <http://www.odec.ca>.

pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente. Debido a que la instalación se realizará en la costa, cada módulo debe contener un mínimo de 36 células fotovoltaicas.<sup>17</sup>

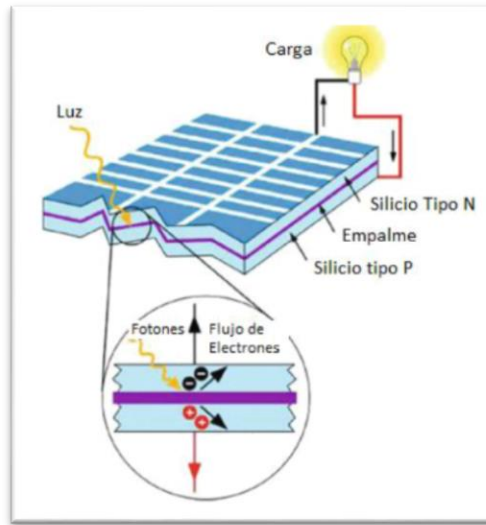


FIGURA 9.-Funcionamiento célula silicio.<sup>18</sup>

En la actualidad, existen varios tipos de células fotovoltaicas con diversas tecnologías, cada una de ellas tiene diferentes propiedades y se debe escoger la más apropiada dependiendo de los siguientes factores:

**Cristalinidad:** Indica el grado de orden en la estructura cristalina de los átomos de silicio. Puede ser: monocristalino, policristalino o amorfo.

<sup>17</sup> "Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp" Minem 2005.

<sup>18</sup> ) "Photovoltaic Industrial Systems" Autor: Papadopolou. Berlin 2011.

**Coeficiente de absorción:** Indica como la luz puede penetrar antes de ser absorbida por el material. Esto depende del material de la célula y de la longitud de onda de la luz.

**Costo y complejidad de fabricación:** Depende de un gran grupo de factores, número de pasos implicados, necesidad de ambiente especial, cantidad y tipo de material, necesidad de mover las células, entre otros.

En la figura 10, se muestra un esquema de las tecnologías actuales en el desarrollo de células fotovoltaicas.

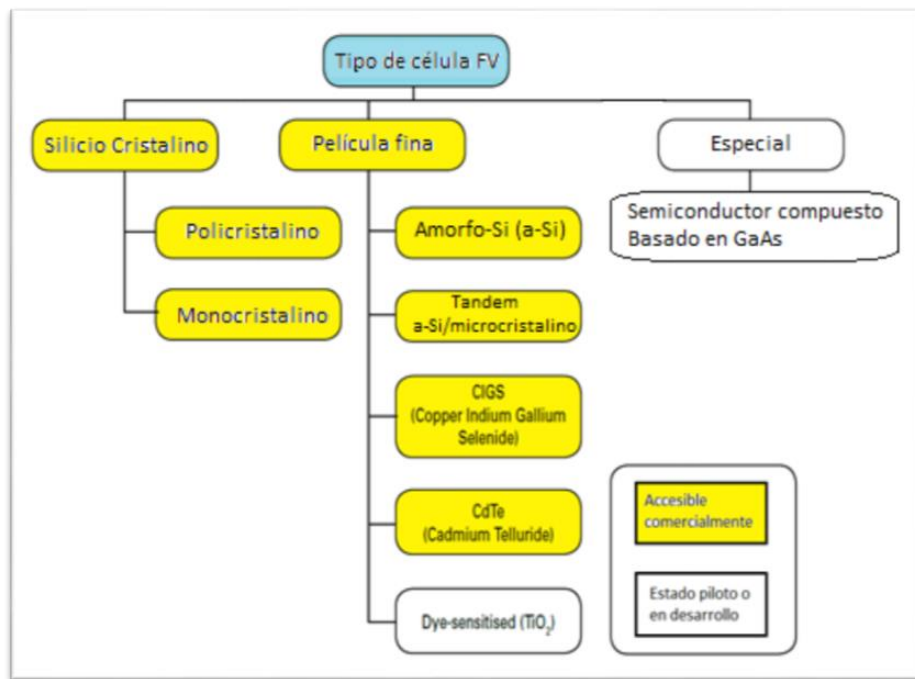


FIGURA 10.-Árbol de Tecnologías Fotovoltaicas.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> "Handbook for Solar Photovoltaic Systems". Publicación: Building and Construction Authority (Gobierno de Singapur).



La imagen de las tecnologías más utilizadas se muestra en la figura 11.

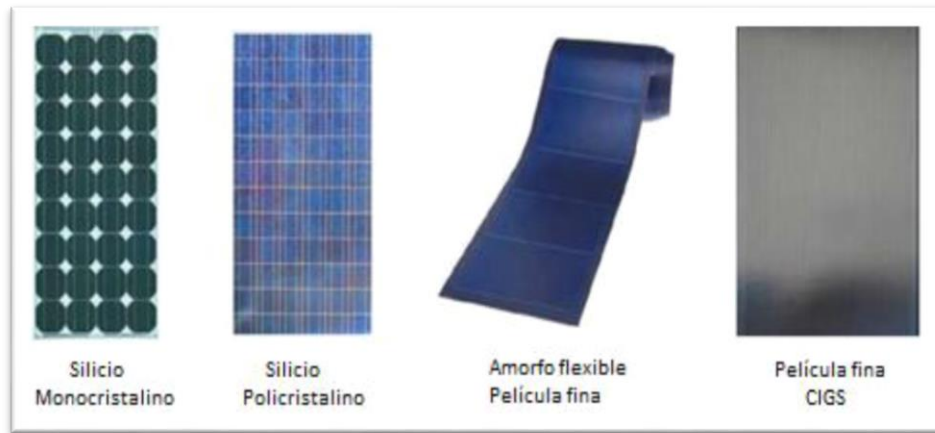


FIGURA 11.-Tecnologías Fotovoltaicas más comunes.

Tabla 2.-Eficiencia de células fotovoltaicas.<sup>20</sup>

Tecnología	Eficiencia del Módulo
Mono-crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

Podemos notar que la eficiencia de la célula de Silicio mono-cristalina es la más alta, sin embargo su alta pureza que eleva los costos de producción y la encarecen. En nuestro caso, la mejor opción es la de utilizar la tecnología policristalina, ya que es la superior en el balance rendimiento/costo.

<sup>20</sup> ) “Handbook for Solar Photovoltaic Systems”. Publicación: Building and Construction Authority (Gobierno de Singapur)

### **2.5.2.-Parametros característicos.**

En las fichas técnicas los paneles muestran datos de eficiencia, voltaje y amperaje bajo condiciones estándares, las cuales son llamadas STC (Standard Testing Condition). Estos parámetros son los siguientes:

- a. Irradiación 1000 w/m<sup>2</sup>
- b. Temperatura del módulo 25°C
- c. AM 1.5.

El voltaje y la intensidad producida por los paneles fotovoltaicos depende de diversos factores, los más importantes son la irradiación y la temperatura a la cual se encuentre el módulo.

### **2.5.3.-Curvas características.**

Los paneles fotovoltaicos tienen curvas características en las cuales se muestra el funcionamiento de los paneles y cuál es el efecto antes cambios en la temperatura o radiación.

**Curvas Intensidad vs Tensión y Potencia vs Tensión.-** La figura 12 muestra puntos característicos en los catálogos de paneles, usualmente se expresa la potencia del panel en el Punto de Máxima Potencia (PMP), aunque para el cálculo del cableado es recomendable utilizar el punto de corto circuito (I<sub>cc</sub>).

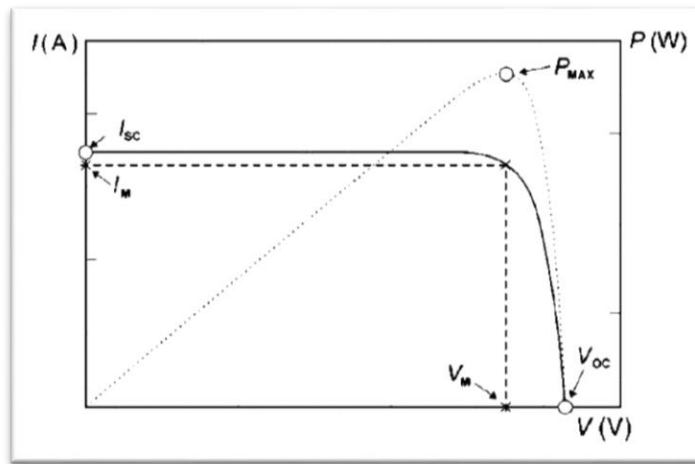


FIGURA 12.-Curva I vs V / P vs V.<sup>21</sup>

**Efecto de la temperatura.-** En la figura 13 podemos notar que conforme disminuye la temperatura, aumenta la tensión de salida (también la potencia), y la corriente se mantiene casi constante. Este efecto se debe a que las propiedades del silicio varían con la temperatura.

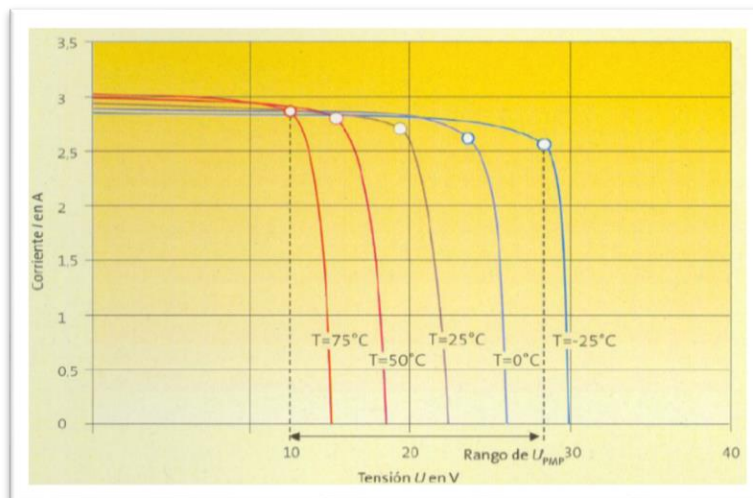


FIGURA 13.-Efecto de la Temperatura.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> "Photovoltaic Industrial Systems" Autor: Papadopolou. Berlin 2011.

<sup>22</sup> "Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1.1 MW". Autor: Roger Guardiola Parera. Junio 2008.

**Efecto de la radiación.-** Es evidente que a mayor radiación, el panel produzca una potencia mayor. Este efecto se muestra en la figura 14.

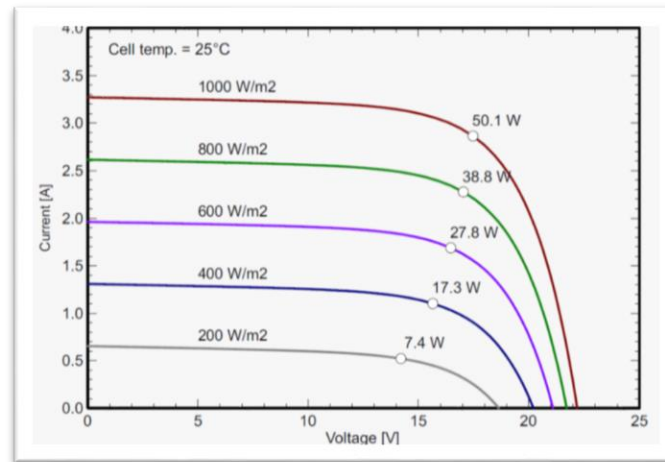


FIGURA 14.-Efecto de radiación en panel 50 Wp EverExceed.<sup>23</sup>

#### 2.5.4.-Efecto sombra.

Las sombras pueden ser muy perjudiciales tanto para la potencia entregada como para la vida útil de los paneles fotovoltaicos. Es siempre recomendable evitar sombras en los paneles.

Como recomendación, la distancia mínima que debe existir entre un muro, árbol o panel y un panel solar debe ser la siguiente:

$$D_{\min} = \tan^{-1}(h/d) \dots \dots \dots ^{24}$$

Dónde:

**d:** Distancia entre el panel fotovoltaico y cualquier objeto causante de sombra.

**H:** Altura de objeto causante de sombra sobre el panel fotovoltaico.

<sup>23</sup> Hoja de datos técnicos ESm50-156. Panel 50 Wp marca EverExceed.

<sup>24</sup> "Energía Solar Fotovoltaica" 4ta Edición. Autor: Javier Méndez Muñiz.

Lo cual garantiza que los paneles se encuentren libres de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.<sup>25</sup>

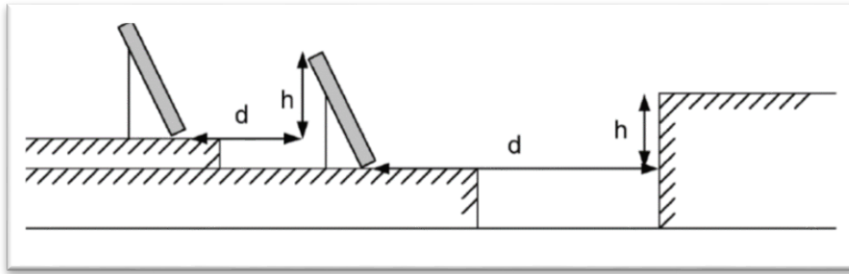


FIGURA 15.-Distanciamiento entre filas de módulos fotovoltaicos.<sup>26</sup>

### 2.5.5.-Efecto fotovoltaico.

El Efecto Fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas.

Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV. Pueden ser reflejados o absorbidos, pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la

---

<sup>25</sup> “Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp” Minem 2005.

<sup>26</sup> “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid – Julio 2011.

célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentes dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando se aumenta la energía. Desdichadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones. Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contrato para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulado transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

Las células FV convierten pues, la energía de la luz en energía eléctrica. El rendimiento de conversión, esto es, la proporción de luz solar que la célula

convierte en energía eléctrica, es fundamental en los dispositivos fotovoltaicos, ya que el aumento del rendimiento hace de la energía solar FV una energía más competitiva con otras fuentes. Estas células conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V). La corriente producida depende del nivel de insolación. La estructura del módulo protege a las células del medio ambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador FV. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie o en paralelo para poder producir cualquier combinación de corriente y tensión. Un módulo o generador FV por sí mismo no bombea agua o ilumina una casa durante la noche.

Para ello es necesario un sistema FV completo que consiste en un generador FV junto a otros componentes, conjuntamente conocidos como “resto del sistema” o BOS (del inglés balance of system). Estos componentes varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que se quiere proporcionar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red eléctrica. En definitiva y cómo podemos ver, nos encontramos ante una

fuentes de energía, que además de renovable se nos presenta como una clara apuesta de futuro de cara al planteamiento energético en los próximos años.

## 2.6.-SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.

En términos generales, se define como sistema fotovoltaico al “conjunto de componentes, mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica”. Estos sistemas, dependiendo de su configuración y de la potencia producida, se dividen en tres categorías:

Sistemas Aislados o Autónomos (Off-Grid)

Sistemas de conexión a la Red (On-Grid)

Sistemas híbridos



FIGURA 16.-Esquema de Sistemas fotovoltaicos.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> <http://informatica.cdt.cl/documentos/eecs/Material.pdf>



### **2.6.1.-Sistemas Fotovoltaicos Aislados o Autónomos.**

Son utilizadas en sectores alejados, que no tienen acceso a la red eléctrica, generalmente sectores rurales, iluminación de áreas aisladas, antenas de comunicaciones, balizas o boyas de señalización, bombeo de agua, etc. Estos sistemas van acompañados de inversores de corriente, para pasar de corriente continua a corriente alterna, reguladores de voltaje y bancos de baterías que permiten almacenar la energía que no se está utilizando. Esto puede ser apreciado en la Fig.17.

Las instalaciones aisladas de la red dan lugar a dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución:

#### **El sistema centralizado**

Consiste en un único sistema que cubre las necesidades del conjunto de usuarios. De esta forma se disminuyen los costos del sistema, sin afectar la calidad del suministro.

#### **El sistema descentralizado**

Al contrario del sistema centralizado, en este caso se instala individualmente el sistema completo en la vivienda o lugar a energizar. Los costos en este tipo de instalaciones son más altos.



FIGURA 17.-Sistema Aislado.<sup>28</sup>

### 2.6.2.-Sistemas de Conexión a la Red (ON-GRID).

Este tipo de instalaciones se encuentra permanentemente conectado a la red eléctrica, de tal forma que en periodos de irradiación solar, sea el sistema fotovoltaico quien entregue energía, mientras que en periodos de radiación limitada o nula, sea la red eléctrica quien entregue la electricidad necesaria para satisfacer la demanda.

En el caso de que la energía generada por el sistema sea superior a la demanda localmente, la red eléctrica aceptará todo excedente de energía que no sea utilizado.

Los equipos que forman parte de estas instalaciones son: panel fotovoltaico, inversor de corriente para pasar de CC a CA y un Contador que permita contabilizar la energía producida por el sistema. Para poner en funcionamiento una instalación fotovoltaica de este tipo es necesario contar con un punto de acceso a la red eléctrica, que permitirá entregar la energía generada, este

<sup>28</sup> Fuente:[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf).

punto de acceso es asignado por la compañía eléctrica del sector donde se realice la instalación.

Si bien es cierto, estas instalaciones en estricto rigor están permanentemente conectadas a la red eléctrica, por lo cual no necesitan de sistemas de conversión y almacenamiento como en el caso de las aisladas, también sería posible utilizarlas como los sistemas aislados, esto en el caso de que sea una instalación pequeña que cubra parcialmente la demanda local y que desee cubrir la energía faltante con la red eléctrica. Para esto, además es necesario utilizar un conmutador que permita realizar el cambio entre la energía entregada por el sistema fotovoltaico a la energía de la red. La Figura 18 muestra un esquema de instalación conectada a la red.)

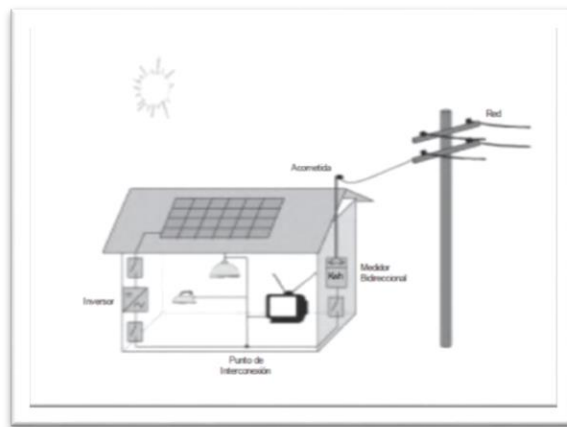


FIGURA 18.-Sistema conectado a red.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Boletín IIE, octubre – diciembre del 2003 sistemas fotovoltaicos conectados a red de Raúl Gonzáles G. Humberto R. Jiménez G. y Javier Lagunas M.

Todas estas aplicaciones pueden dividirse en dos grandes subgrupos: los sistemas fotovoltaicos en edificios y las centrales o huertos solares.

### **Sistemas fotovoltaicos en edificios.**

Los edificios que integran sistemas fotovoltaicos se conocen como Sistemas Fotovoltaicos Integrados en Edificios (SFIE) o Edificios Fotovoltaicos Conectados a Red (EFCR) (Building Integrated Photovoltaic Systems, BIPV). Tienen como función específica entregar toda la energía generada por el sistema a la red eléctrica. Los primeros EFCR instalados en Europa surgieron al final de los años 80 en Alemania, Austria y Suiza. En España, por ejemplo el primer edificio institucional que funcionó fue el Instituto Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, en 1994. A día de hoy, los edificios fotovoltaicos significan un 42% del total de la energía consumida en Europa. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centro comerciales, naves industriales...) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera el aumento de instalaciones integradas en tejas y otros materiales de construcción. Estos sistemas fotovoltaicos son de pequeño a mediano tamaño, lo que supone una potencia de 5 kW a 200 kW, aunque a veces se supere este valor y se llegue al orden de los MW. Otros sistemas pueden reemplazar a los componentes de las fachadas.

Las fachadas fotovoltaicas son elementos muy fiables y aportan un diseño moderno e innovador al edificio mientras producen electricidad, como se aprecia en la figura 19.



FIGURA 19.-Edificio con fachada fotovoltaica.<sup>30</sup>

### **Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas.**

Los huertos fotovoltaicos son agrupaciones de instalaciones fotovoltaicas individuales, pertenecientes a distintos titulares, situados en un terreno o parcela que reúne unas condiciones óptimas para producir energía fotovoltaica (ver figura 20). Los huertos fotovoltaicos ofrecen varias ventajas como:

- a. El incremento de la rentabilidad del proyecto al abaratar costes en infraestructura, mantenimiento, limpieza, vigilancia y gestión administrativa.
- b. Los generadores fotovoltaicos se pueden adquirir a precios inferiores debido al volumen de unidades de compra.
- c. Los pocos efectos medioambientales negativos se concentran en zonas con escaso valor medioambiental.

---

<sup>30</sup> [www.saecsaenergiasolar.com](http://www.saecsaenergiasolar.com)

- d. Se generan nuevos puestos de trabajo alrededor de las zonas de instalación.
- e. Permite la inversión en instalaciones fotovoltaicas de cualquier persona, aún sin disponer de un terreno propio adecuado.

Los elementos comunes en un huerto son los paneles fotovoltaicos, que pueden ser fijos o con rotores giratorios para seguir el movimiento del sol, lo cual permite un aumento en la capacidad de captación de la radiación. La mayoría de los fabricantes de paneles solares garantizan un 80% de producción de energía durante los primeros 25 años de vida. La electricidad generada por los paneles fotovoltaicos es corriente continua y debe convertirse en corriente alterna, para su vertido a la red, mediante el empleo de un inversor.



FIGURA 20.-Huerto solar fotovoltaico.<sup>31</sup>

---

<sup>31</sup> Parques solares de Navarra – España

### 2.6.3.-Instalaciones Híbridas.

En este tipo de instalaciones se combinan los sistemas fotovoltaicos con una o más fuente de energía renovable o no renovable, como por ejemplo: sistemas eólicos, mareomotriz, biomasa, geotermia, generadores, etc. según se muestra en la Figura 21, aumentando de esta forma la confiabilidad de la instalación, ya se evita la dependencia de la plena de un solo medio de generación, como lo es el fotovoltaico, permitiendo en cambio, la complementación de estos sistemas.

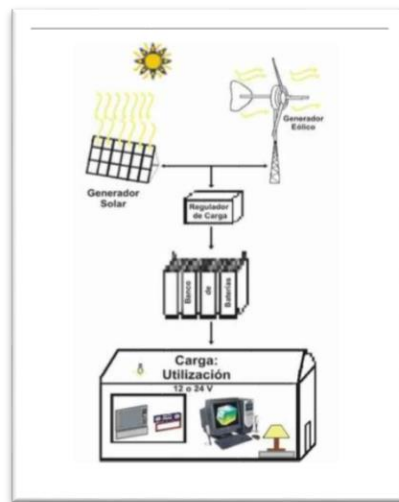


FIGURA 21.-Sistema Híbrido.

### 2.7.-COMPONENTES DEL SISTEMA CONECTADO A LA RED.

Dentro de una instalación solar fotovoltaica tenemos varios dispositivos o equipos que debemos dimensionar para que sea posible la transformación de la radiación solar en energía eléctrica que inyectamos a la red.

### 2.7.1.-Generador Fotovoltaico.

Es el elemento captador de energía, que recoge la radiación solar y la transforma en energía eléctrica. Está formado por un conjunto de paneles o módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, que deben proporcionar la energía necesaria para el consumo.

### 2.7.2.-Inversores.

En las instalaciones fotovoltaicas son los paneles fotovoltaicos los encargados de generar potencia a partir de la radiación solar captada. La potencia eléctrica generada es potencia continua, con unos valores de tensión y corrientes dependientes de la disposición de los paneles. El inversor fotovoltaico es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada a la red comercial. Su función principal es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, con unas características establecidas por la red.

Las partes fundamentales en un inversor son:

**Control principal.** Incluye todos los elementos de control general, los sistemas de generación de onda basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) y parte del sistema de protecciones.

**Etapas de potencia.** Esta etapa puede ser única o modular en función de la potencia deseada. Se opta por la tecnología en baja frecuencia ya que ofrece buenos resultados con una alta fiabilidad y bajo coste. Además, debe



incorporar un filtro de salida (LC), para filtrar la onda y evitar el rizado en la tensión procedente de los módulos.

**Control de red.** Es la interface entre la red y el control principal. Proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, etc.

**Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT).** Es uno de los factores más importantes en un inversor. Su función es acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, la máxima potencia.

**Protecciones.** De manera general, los inversores deben estar protegidos ante tensión de red fuera de márgenes, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador fotovoltaico insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, además de las protecciones pertinentes contra daños a personas y compatibilidad electromagnética.

**Monitorización de datos.** Los inversores dispondrán de **microprocesadores** que les facilite una gran cantidad de datos tanto de los parámetros habituales (tensión, corriente, frecuencia, etc.) como de parámetros externos (radiación, temperatura ambiente, etc.) e internos (p.e. temperaturas de trabajo).

Debido al elevado coste de las instalaciones solares fotovoltaicas, durante la explotación los inversores deben ofrecer un alto rendimiento y fiabilidad. Dicho rendimiento depende de la variación de la potencia de la instalación, por lo que

debe procurarse trabajar con potencias cercanas o iguales a la nominal, puesto que si la potencia procedente de los paneles fotovoltaicos a la entrada del inversor varía, el rendimiento disminuye.

Los principales parámetros habituales a tener en cuenta en un inversor son:

- a. Tensión nominal (V). Tensión que debe aplicarse en bornes de entrada del inversor.
- b. Potencia nominal (VA). Potencia que suministra el inversor de forma continuada.
- c. Potencia activa (W). Potencia real que suministra el inversor teniendo en cuenta el desfase entre tensión y corriente.

**Capacidad de sobrecarga.** Capacidad del inversor para suministrar una potencia superior a la nominal y tiempo que puede mantener esa situación.

**Factor de potencia.** Cociente entre potencia activa y potencia aparente a la salida del inversor. En el caso ideal, donde no se producen pérdidas por corriente reactiva, su valor máximo es 1, es decir, estas condiciones son inmejorables para el suministro de corriente del inversor.

**Eficiencia o rendimiento.** Relación entre las potencias de salida y entrada del inversor.

**Autoconsumo.** Es la potencia, en tanto por ciento, consumida por el inversor comparada con la potencia nominal de salida.

**Armónicos.** Un armónico ideal es una frecuencia de onda múltiplo de la frecuencia fundamental. Tener en cuenta que, sólo a frecuencia fundamental, se produce potencia activa.

**Distorsión armónica.** La distorsión armónica total o THD (Total Harmonic Distortion) es el parámetro que indica el porcentaje de contenido armónico de la onda de tensión de salida del inversor.

**Rizado de corriente.** Pequeña variación que se produce sobre el valor de la onda de corriente alterna al rectificarse o invertir una señal de CC a CA.

A continuación, se analizarán cuáles son los parámetros que caracterizan a un inversor fotovoltaico para una instalación fotovoltaica conectada a red.

#### **2.7.2.1.-Características de los inversores.**

Los tipos de inversores y su conexión dependen, fundamentalmente, de su potencia nominal, según el RD 1699/2011 de la norma española, para aquellos inversores o suma de inversores cuya potencia nominal sea menor o igual a **5kW**, la conexión a red debe ser monofásica, mientras que si excede los 5kW de potencia nominal la conexión deberá ser trifásica con un desequilibrio entre fases inferior a dicho valor. La conexión trifásica puede realizarse con un único inversor o con la conexión en paralelo de tres inversores monofásicos. Atendiendo a la forma de onda, los inversores en instalaciones conectadas a red deben presentar una onda senoidal pura. Esto es debido a que a la salida, la forma de onda debe ser prácticamente idéntica a la de la red eléctrica general, para permitir la conexión a la misma.

Atendiendo a la instrucción técnica complementaria para baja tensión ITC-BT-40 (<http://www.grupoprevenir.es/normativas/d/itc40.htm>) del reglamento eléctrico de baja tensión (REBT), para instalaciones en las que existe conexión a red, deben instalarse sistemas de conmutación que impidan la conexión simultánea entre la instalación generadora y la red eléctrica. Existen dos grupos:

#### **Inversores conmutados por la red:**

Tienen como principio básico un puente de tiristores. Se utilizan principalmente en automatización y son los más utilizados en grandes plantas fotovoltaicas. Entre las ventajas de estos inversores destacan su sencillez de instalación, la fiabilidad que presentan, son más baratos que los auto conmutados, pueden trabajar con grandes potencias y sus desventajas pueden resolverse con sistemas de filtrado más sencillos. Entre las desventajas están el nivel de corriente reactiva que presentan, lo que supone factores de potencia por debajo de la unidad, un alto nivel de distorsión armónica y presentan fallos de conmutación en caso de que se produzcan fallos de red.

#### **Inversores autoconmutados:**

Se basan en un puente de materiales semiconductores que se pueden conectar y desconectar. Tienen ventajas como su alta seguridad, ya que un cortocircuito a la salida no les afecta, la señal de salida es claramente sinusoidal, no precisa de grandes sistemas de filtrado de la señal, generan

una tensión y una corriente totalmente en fase con la tensión de red y pueden compensar potencia reactiva, adelantando o retrasando la corriente respecto a la tensión de red. Como inconvenientes están una potencia máxima menor, aunque pueden conectarse en paralelo, un rendimiento más pequeño, lo que supone mayores pérdidas, y son más caros que los anteriores. Los inversores, además de proporcionar una frecuencia correcta, deben regular la tensión de salida, haciéndola coincidir con unos valores de trabajo determinados. Para ello, dependiendo de la potencia y el nivel de funcionamiento, se emplean convertidores CC/CC antes del inversor, sistemas que regulen las ondas senoidales mediante la modulación de ancho de pulso (PWM), o bien, utilizando un auto-transformador variable que ajuste el voltaje de salida. Todo esto es posible mediante la utilización de materiales semiconductores como:

Mosfet: transistores de efecto de potencia.

Transistores bipolares.

GTO: tiristores desconectables de hasta 1K.

IGBT: transistores bipolares de puerta aislada.

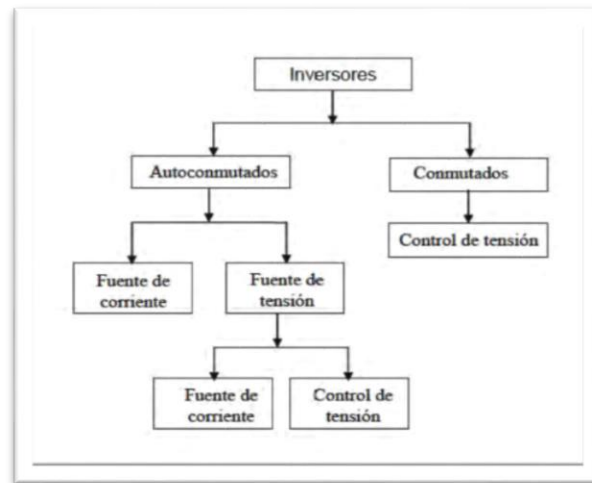


FIGURA 22.-Clasificación de los inversores.<sup>32</sup>

También estos inversores se pueden clasificar en función de su funcionamiento ideal, algo que nunca sucede realmente:

### **Inversores como fuente de corriente.**

Este tipo de inversores tiene una fuerte dependencia de la carga para funcionar correctamente. Para funcionar dentro de los márgenes de seguridad, precisan de una carga mínima conectada permanentemente. Sin embargo, ofrecen la ventaja de soportar cortocircuitos a la salida o unas demandas puntuales muy altas para el arranque del motor, sin que el sufra daños en sus componentes.

---

<sup>32</sup> Tesis Doctoral “Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red” Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).

### **Inversores como fuente de tensión.**

Este tipo de inversores no depende de una carga para su funcionamiento. Precisa de protección ante cortocircuitos mediante un sistema de limitación de corriente. En cuanto a su topología interna, éstos pueden adoptar tres esquemas distintos para el aislamiento entre la parte de continua y la de alterna, denominado también aislamiento galvánico:

#### **Aislamiento galvánico en baja frecuencia:**

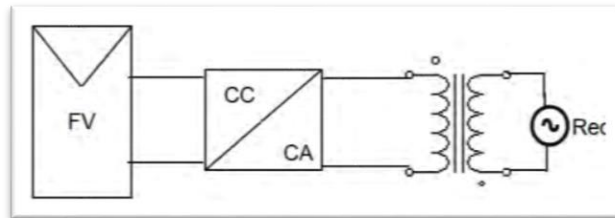


FIGURA 23.-Esquema de Aislamiento en baja frecuencia.<sup>33</sup>

#### **Aislamiento galvánico en alta frecuencia:**

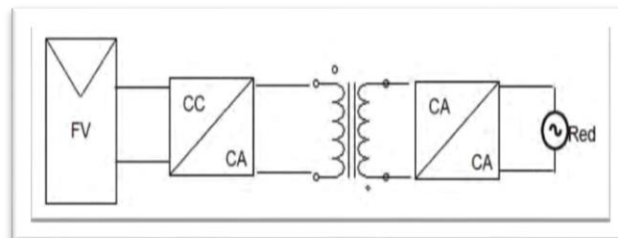


FIGURA 24.-Esquema de Aislamiento de alta frecuencia.<sup>34</sup>

<sup>33</sup> Tesis Doctoral "Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red" Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).

<sup>34</sup> Tesis Doctoral "Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red" Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).

**Sin aislamiento galvánico:**

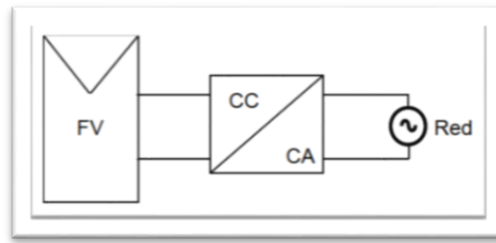


FIGURA 25.-Esquema sin aislamiento galvánico.<sup>35</sup>

Por último, según las configuraciones del sistema, los inversores de conexión a red pueden clasificarse como:

**Inversores centrales:**

La instalación fotovoltaica dispone de un único inversor, generalmente trifásico y de alta potencia. (Ver figura 26).

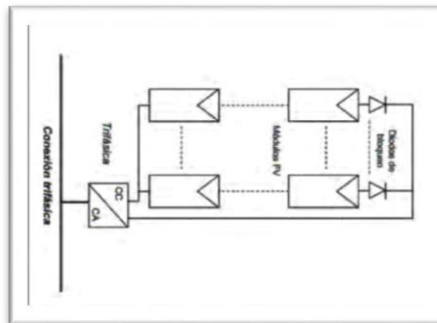


FIGURA 26.-Esquema de inversor central.<sup>36</sup>

<sup>35</sup> Tesis Doctoral "Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red" Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).

<sup>36</sup> Tesis Doctoral "Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red" Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).



**Inversores modulares:** También denominados “string inverters”, tienen potencias que oscilan **entre 1 y 5kW**, y, generalmente, son monofásicos. (Ver figura 27).

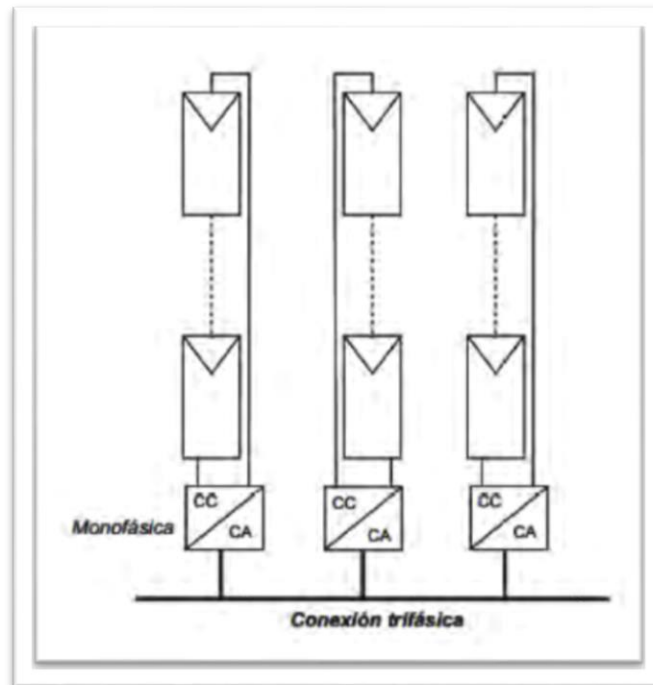


FIGURA 27.-Esquema de inversor modular.<sup>37</sup>

**Inversores integrados en módulos fotovoltaicos:** El inversor está integrado en la caja de conexiones o puede adherirse a un módulo FV.

---

<sup>37</sup>Tesis Doctoral “Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red” Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).

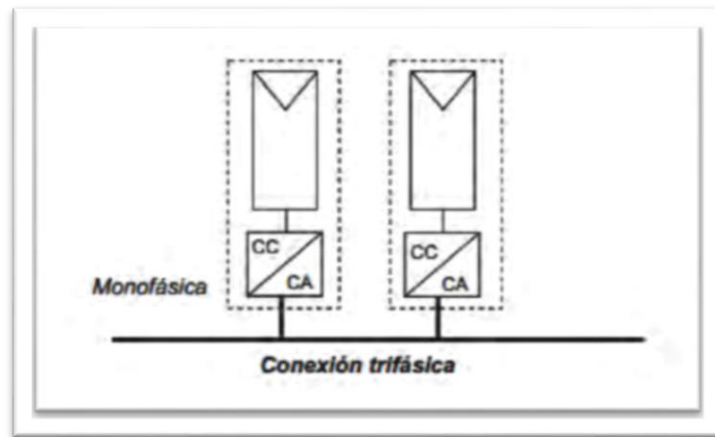


FIGURA 28.-Esquema de inversores integrados.<sup>38</sup>

### **Inversores multi string.**

Usados para potencias elevadas, esta tecnología varias ramas se conectan a un inversor CC – CA común, a través de un convertidor CC – CC específico para cada una de las ramas. La potencia es de 3 – 10kW. Esta topología comparada con la de un inversor centralizado, tiene las siguientes ventajas:

- a. Cada rama puede ser controlada individualmente
- b. Se logran mayores rendimientos
- c. Las ampliaciones son fáciles de conectar al generador solar ya existente.

---

<sup>38</sup>Tesis Doctoral “Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red” Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).

A modo de resumen, entre las características básicas del inversor destacan su principio de funcionamiento como fuente de corriente, será auto conmutado, no funcionará en isla o modo aislado, y presentará una onda sinusoidal monofásica.

#### **Rendimiento del inversor.**

El rendimiento del inversor es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada al mismo. Para obtener su valor real deben tenerse en cuenta los sistemas de filtrado, las protecciones o los transformadores, por ejemplo. Es decir, el rendimiento total real depende de las pérdidas producidas por los componentes internos del propio inversor.

#### **2.7.3.-Bloque de cableado.**

El bloque de cableado es un bloque que puede parecer evidente pero es fundamental hacer un breve análisis del mismo. Se compone por todos los conductores eléctricos de la instalación. La importancia del mismo reside en que su correcto dimensionamiento puede suponer una reducción importante de las pérdidas de energía en el sistema. Por ello, un concepto importante a tener en cuenta es la caída de tensión en los mismos. La caída de tensión en los conductores se producirá tanto en los circuitos de corriente continua como en los de la parte de alterna. A pesar de que el CNE (código nacional de electrificación) no contempla las instalaciones fotovoltaicas, la instrucción técnica complementaria ITC-BT-40 (Española), para instalaciones generadoras de baja tensión indica que:

Los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5% para la intensidad nominal. En el Pliego de Condiciones Técnicas para instalaciones conectadas a red del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), se recomienda que:

Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte de CC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior al 1,5% y los de la parte de CA para que la caída de tensión sea inferior al 2% teniendo en ambos casos como referencia las tensiones correspondientes a las cajas de conexiones.

#### **2.7.4.-Bloque de control.**

Cada día, este bloque cobra más importancia, ya que su aplicación permite mejorar el funcionamiento de las instalaciones, aumentar su rendimiento, reducir costes y prolongar su vida útil.

Es el bloque encargado de recoger los datos de funcionamiento de la instalación y dar las órdenes necesarias para asegurar su correcto funcionamiento. Para ello, cuenta con sistemas de monitoreo y control (ver figura 29), los cuales podemos dividir en dos grupos: los sistemas manuales y los computarizados.

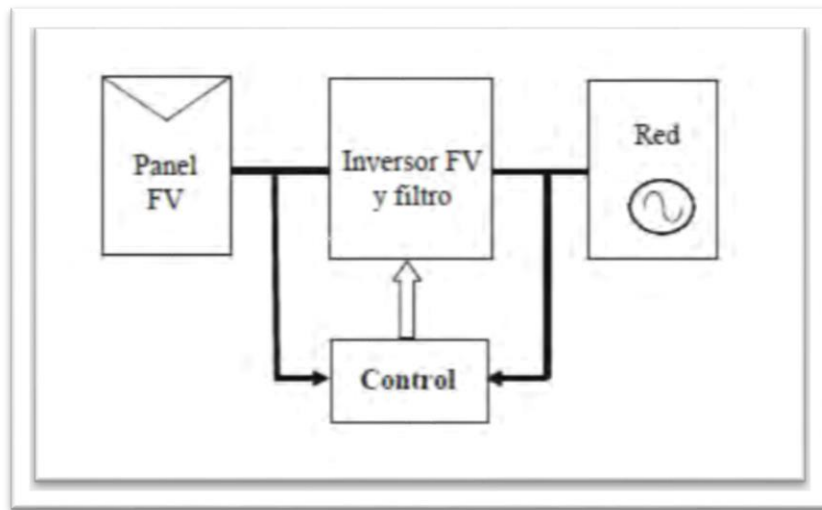


FIGURA 29.-Esquema de un inversor con bloque de control.<sup>39</sup>

### **Sistemas manuales.**

En este tipo de sistemas los datos son suministrados por polímetros o por las luces de los distintos elementos que componen la instalación. El control lo lleva a cabo el usuario de mantenimiento, empleando interruptores o conmutadores integrados en los distintos equipos. Algunos de esos interruptores o conmutadores se activan mediante sistemas electromecánicos, permitiendo el control y gobierno de sistemas de mediana y gran potencia, sin poner en peligro la seguridad de los usuarios. Sin embargo, este tipo de sistemas solo se emplea en instalaciones pequeñas, donde el volumen de equipos y sistemas es bajo.

<sup>39</sup> Tesis Doctoral “Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red” Autor: Linda Hassaine (Universidad Carlos III de Madrid).

## **Sistemas computarizados**

Se denominan sistemas computarizados a aquellos que constan de equipos informáticos que están capturando señales del estado del sistema de forma continuada. Este tipo de sistemas tiene las siguientes funciones básicas:

- a. Impartir las instrucciones de funcionamiento necesarias a todos los elementos del sistema, siguiendo un procedimiento determinado.
- b. Detectar desviaciones de los parámetros preestablecidos para un funcionamiento normal del sistema.
- c. Actuar sobre el sistema para llevarlo a sus condiciones normales de funcionamiento, en caso de detectar desviaciones.
- d. Presentar los datos de funcionamiento del sistema al usuario u operario de mantenimiento.
- e. Llevar un registro de datos históricos de funcionamiento del sistema.

En las instalaciones, se puede disponer de distintos equipos con diversos sistemas de control y monitoreo, algunos de los cuales salvan distancias incómodas para el usuario, a la vez que proporcionan informaciones parciales o, en ocasiones, incompletas. La mejora para esa recepción incompleta de información está en el uso de sistemas informáticos centralizadores del control y la información, que permiten el control y la revisión aún a grandes distancias.

Gracias a la gran flexibilidad de los programas que manejan los equipos informáticos, el bajo coste, la alta fiabilidad de los mismos y sus posibilidades

de utilización, estos sistemas se están imponiendo como elementos de control prácticamente indispensables en instalaciones medianas y grandes. Como mínimo, estos sistemas de monitorización deben proporcionar información de las siguientes variables para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación y la seguridad de los usuarios:

- a. Tensión y corriente continua del generador.
- b. Voltaje de salida del generador.
- c. Potencia CC consumida.
- d. Potencia CA consumida.
- e. Irradiación solar en el plano de los módulos.
- f. Temperatura ambiente en la sombra.
- g. Voltaje de salida del acumulador.

También podrán incluir sistemas complementarios como los que se enumeran a continuación, principalmente en instalaciones de grandes dimensiones.

- a. Sistema de Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)
- b. Sistema de detección de intruso y robo.
- c. Sistema de protección contra incendios.
- d. Sistema meteorológico.
- e. Sistema telemétrico de control de la instalación.

### **2.7.5.-Bloque de carga.**

El concepto carga hace referencia a todo equipo o sistema que va a hacer uso de la energía producida por nuestro sistema.

Por ello, el sistema debe diseñarse teniendo en cuenta dichas cargas y debe instalarse para suministrar energía a las mismas, de tal forma que el funcionamiento de la instalación sea óptimo y, por tanto, las pérdidas sean mínimas.

En definitiva, tenemos que conseguir una instalación económica, rentable y eficiente, y puede conseguirse modificando, ajustando y optimizando la carga.

## **2.8.-ELECCION DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.**

### **2.8.1.-Orientación de los Paneles.**

A la hora de diseñar este tipo de instalaciones solares, es muy importante decidir la orientación de los paneles ya que interesará que los paneles capten la mayor cantidad de radiación solar posible. Esta orientación puede ser impuesta por el emplazamiento donde vamos a instalar los paneles, como es el caso de tejados con una cierta orientación, o libre si la ubicación lo permite, como extensiones de terreno llanas. Según el Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE) de España, la orientación se define por el ángulo llamado azimuth (Z), que es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar, como se ve en la figura 3.4. Los valores típicos son  $0^\circ$  para los módulos al norte,  $180^\circ$  para módulos al sur,  $-90^\circ$  para módulos orientados al este y  $+90^\circ$  para módulos orientados al oeste.



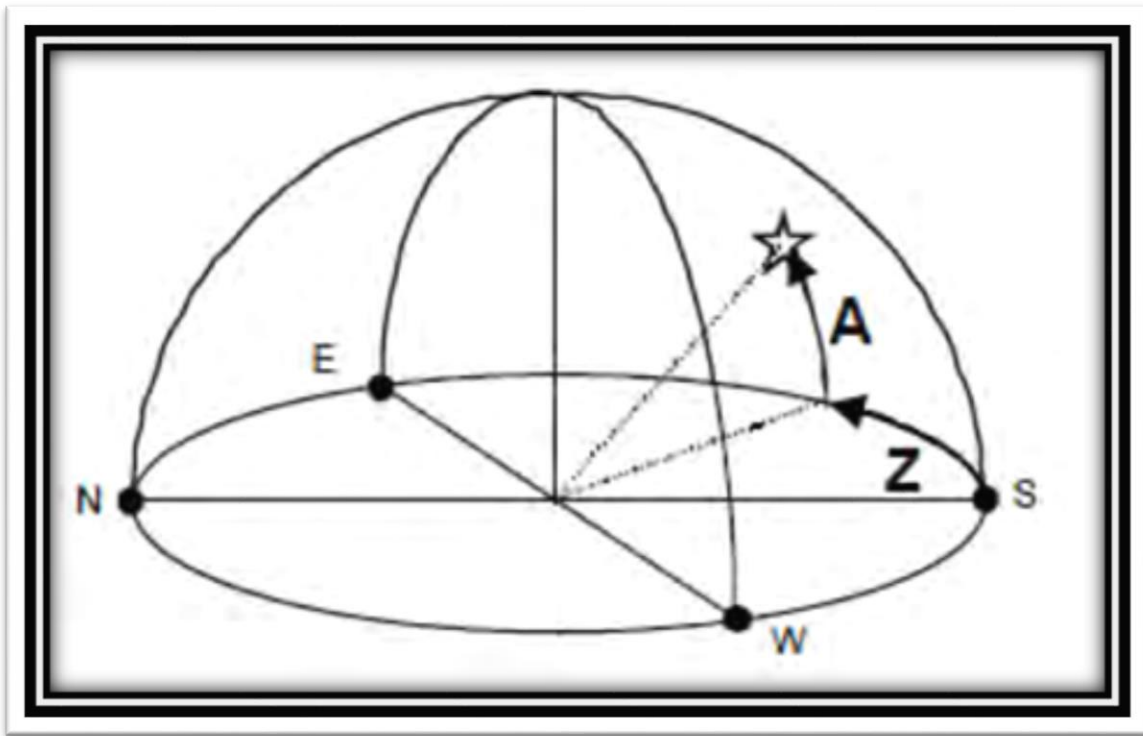


FIGURA 30.-Representación del ángulo Azimut (Z) y altura solar (A).<sup>40</sup>

### 2.8.2.-Inclinacion de los Paneles.

El montaje de los módulos solares es una de las operaciones más importantes en una instalación de energía solar. El cálculo del ángulo de inclinación de los paneles solares optimiza el rendimiento de la instalación, está en función de la latitud del lugar y de la aplicación que se piensa dar a la energía solar, es preciso materializarlo mediante un sistema de anclaje y soportes adecuados.

<sup>40</sup> Cornejo, H. (2013). Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura.

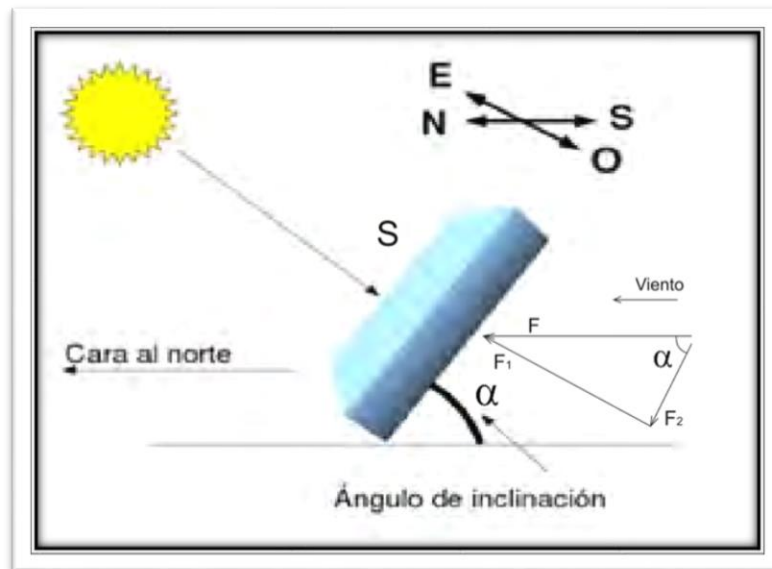


FIGURA 31.-Ángulo de inclinación de un panel solar.

Los paneles solares se instalarán de forma que a lo largo del periodo anual de utilización aprovechen al máximo la radiación solar disponible y para el hemisferio sur su orientación será siempre hacia el norte geográfico, como se ve en la figura 31. La inclinación “a” de un generador fotovoltaico conectado a red se calcula mediante la fórmula:  $a=7.84^\circ$

$$a_{opt}= 3.7 + 0.69 \cdot \text{Latitud del lugar}$$

Un punto importante a tener en cuenta en la instalación de los paneles solares, es el porcentaje de sombra por el cual el panel dejará de ser útil, es entorno al 20% de su superficie. Por encima de este dejará de funcionar, en todo caso se buscará que la superficie sombreada del panel no sea superior al 5% en los días más desfavorables.

### **2.8.3.-Distancia mínima entre filas de Paneles.**

La distancia mínima de separación entre filas de paneles, depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado esté el panel, deberá guardarse mayor distancia entre filas. Pero como se va a trabajar en la forma donde 16 paneles van estar en la misma recta, pero siempre conservando el ángulo de inclinación. La forma será como se muestra en la figura 32.



FIGURA 32.-Diseño de instalación de paneles solares.

### **2.8.4.-Calculo de número de paneles.**

El área a utilizar en la azotea del bloque A será de 70 m<sup>2</sup>. El sistema a construir será de 16 paneles ubicados en 1 generador, en donde su conexión en serie y en paralelo será de 2 ramales en paralelo y cada ramal tendrá 8 paneles conectados en serie, este tipo de conexión se debe al inversor interconectado a red en donde sus especificaciones técnicas con respecto al intervalo de voltaje máximo y corriente máxima lo muestran.

## **2.9.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.**

### **VENTAJAS**

- a. Fuente inagotable de energía.
- b. Escaso impacto ambiental.
- c. No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente.
- d. Distribuida por todo el mundo.
- e. No tiene más costos una vez instalados.
- f. No hay dependencia de las compañías suministradoras.
- g. Silenciosa
- h. Tiene una vida útil superior a 25 años.
- i. Resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, etc.
- j. No requiere mantenimiento complejo, solo limpieza del módulo solar.
- k. Se puede aumentar en cualquier momento la capacidad instalada y la autonomía de la instalación.
- l. No consume combustible para generar electricidad.

### **DESVENTAJAS.**

- a. Para instalaciones de sistemas aislados o no interconectados a CFE, se necesitan sistemas de baterías que aumentan el costo del sistema.
- b. Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada, en el caso de grandes instalaciones.

- c. Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los modelos solares en el entorno.

## **2.10.- DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LA TERMINOLOGÍA EMPLEADA.**

Debido a la diversidad de términos técnicos en este presente trabajo de investigación, es necesario comenzar con una lista de las principales definiciones que permitirán comprender mejor los términos técnicos utilizados.

- a) Celda solar o celda fotovoltaica:** Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.
- b) Irradiancia:** Es la magnitud que describe la radiación o intensidad de iluminación solar que llega hasta nosotros medida como una potencia instantánea por unidad de superficie,  $W/m^2$  o unidades equivalentes.
- c) Irradiación:** Es la cantidad de Irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en  $Wh/m^2$  o, en caso de un día, en  $Wh/m^2.día$  o unidades equivalentes.
- d) Capacidad instalada:** Potencia nominal o de placa de una unidad generadora.
- e) Corriente alterna:** En la corriente alterna (CA o AC, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su

centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo).

**f) Corriente continua:** La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo.

**g) Corriente de corto circuito:** Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.

**h) Corriente de máxima potencia:** Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

**i) Horas de sol pico:** Número equivalente de horas a 1 Kw.h/m<sup>2</sup> de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

**j) Potencia eléctrica:** Capacidad de los aparatos eléctricos para producir trabajo (la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo). La unidad de medida es el Watt (W), el kilowatt (Kw) o el megawatt (Mw).

**k) Punto de máxima potencia:** Punto de la curva I-V en donde el producto  $I * V$  (potencia) tiene su valor máximo.

**l) Voltaje de circuito abierto:** Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

**m) Voltaje de máxima potencia:** Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

**n) Watt pico:** Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C y 1.5 de masa de aire).

**o) Carga:** Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia.

**p) Consumo eléctrico:** Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (Kw.h) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1.-TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

En el presente trabajo es importante describir los criterios de investigación que nos permitió desarrollar y concluir con éxito el proyecto, los cuales son los siguientes.

- a) Investigación Explicativa:** Porque permitió analizar e interpretar su comportamiento para la solución del problema; descubriendo las causas directas del problema central que es la generación de electricidad.
- b) Investigación Aplicada:** Porque se hizo uso de los conocimientos y bases teóricas de la ingeniería para dar solución al problema de la energía eléctrica de la zona involucrada en el presente estudio.
- c) Investigación Descriptiva:** Porque solo se pretende describir las características de las variables en estudio (radiación solar y energía fotovoltaica) a través tal y como se presentan en la realidad.

#### **3.2.-POBLACIÓN Y MUESTRA.**

El presente trabajo de investigación ha sido aplicado a un lugar específico, donde la población involucrada es la misma que la muestra, por lo tanto no se han desarrollado técnicas de muestreo.



### **3.3.-FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.**

Los niveles de radiación solar en el “Complejo Policial La Despensa” nos permitirán determinar la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico conectado a red para la generación eléctrica.

### **3.4.-VARIABLES- OPERACIONALIZACIÓN.**

La definición operacional de las variables es el proceso mediante el cual se establecen los procedimientos empíricos que permiten la obtención de datos de la realidad para verificar las hipótesis y solucionar el problema.

En nuestro caso la variable independiente es la radiación solar, el cual es el la principal fuente de energía, y la variable dependiente es el sistema fotovoltaico propuesto a implementar para solucionar el problema de generación de energía eléctrica.

A continuación se muestra el cuadro de las variables y su operacionalización consideradas en el presente proyecto de investigación.

Tabla 3.-Descripción de la variable dependiente e independiente.

VARIABLE	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTOS	INDICADORES
<b>Independiente</b>	Niveles de Radiación Solar	Es indispensable para el funcionamiento de nuestro modulo fotovoltaico.	Atlas Solar del Peru	Horas Pico Sol (HPS)
<b>Dependiente</b>	Sistema Fotovoltaico	Proporciona energía eléctrica.	Manual de guía para el dimensionamiento de sistemas conectados a red.	Consumo de energía
				Cantidad de paneles fotovoltaicos.
				Máxima Demanda
				Costo de inversión
				Indicadores económicos
<b>Localización</b>	Complejo Policial La Despensa	Ubicado dentro del mercado La Despensa ,distrito de Jose Leonardo Ortiz ,Chiclayo ,Lambayeque	Google Earth.	

### **3.5.-METODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACION.**

#### **3.5.1.-Métodos de investigación**

- a) Analítico:** Porque se ha realizado el estudio de un sistema fotovoltaico para determinar las características eléctricas de todos sus componentes para el suministro de energía eléctrica.
- b) Deductivo:** Utilizamos este método porque se han considerado características generales del uso de energías renovables, para llegar a conocer hechos particulares como es la radiación solar en la generación de energía eléctrica.
- c) Comparativo:** Porque ha permitido conocer los hechos de la realidad, estableciendo diferencias entre el sistema convencional de generación eléctrica y sistema fotovoltaico propuesto.

#### **3.5.2.-Técnicas de investigación.**

- a) Observación:** Se aplicó la técnica de observación focalizada, que consistió en observar y registrar al detalle las características eléctricas de las cargas existentes; estos datos fueron registrados por el investigador, que posteriormente fueron utilizados para determinar la máxima demanda instalada.
- b) Fichaje:** Consistió en registrar los datos que se fueron obteniendo en los instrumentos llamados fichas (o formatos), las cuales, debidamente

elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la información que se recopiló en la investigación.

### 3.6.-DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

Estos instrumentos permitieron recoger y registrar los datos observables de la investigación. Para registrar la información de campo se utilizó un formato (ficha técnica) ya establecido por el autor responsable de la investigación.

Tabla 4: Técnicas e instrumentos en la investigación.

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Observación	Cuaderno de apuntes
Fichaje	Formatos: -F001: Registro de visita técnica. -F002: Registro de equipos eléctricos. -F003: Registro de instalación.

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

El análisis estadístico y la interpretación de los datos es una de las etapas más importantes en la investigación, porque aquí es donde se proyecta a las conclusiones.

La información obtenida en el presente trabajo de investigación, como son datos de radiación solar, máxima demanda eléctrica y la energía generada con el sistema convencional y fotovoltaico, se han organizado en tablas y gráficas de barras utilizando el MS Excel, gracias a ello se ha podido determinar a dar posibles respuestas al problema planteado.

Una medida de tendencia central que se ha utilizado es la media aritmética, la cual permitió expresar en forma resumida los datos de energía eléctrica generada por año con sistema convencional y fotovoltaico.

## **CAPITULO IV**

### **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.1.-PROPUESTA DE ESTUDIO.**

La crisis energética es un problema que a todos nos afecta, un ejemplo de esto es el aumento de los costos de la energía eléctrica. Es por esto que desde un tiempo a esta parte ha surgido un gran interés por buscar alternativas que permitan reducir estos costos.

En la actualidad se ha venido promoviendo el uso de energías renovables con la finalidad de dejar atrás las ineficientes formas de generación de energía eléctrica. Pues bien, el problema que aquí se plantea, está dado por el elevado consumo de energía eléctrica a causa del mal aprovechamiento de esta, junto con la dependencia de centrales hidroeléctricas o de aquellas que utilizan combustibles para la generación de electricidad, para lo cual es necesario buscar una forma alternativa de abastecimiento técnicamente factible y económicamente viable que permita reducir el consumo y los costos por este concepto y aparte tener en cuenta el medio ambiente.

Nosotros como profesionales que somos, tenemos el compromiso del desarrollo sostenible regional ya que mediante estas tecnologías limpias y renovables, por ese motivo nos hemos visto en la necesidad de diseñar un sistema fotovoltaico de conexión a red.

Por lo descrito anteriormente se realizará un estudio para determinar la viabilidad técnica y económica para el uso de energía fotovoltaica en el Complejo policial La Despensa, distrito de José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

Nuestra propuesta de investigación obedece al siguiente Esquema.

#### **4.2.-DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO.**

El sistema fotovoltaico propuesto a implementar en el “Complejo policial La Despensa” para la generación de energía eléctrica, se dimensionó considerando la radiación solar de la zona, la máxima demanda y el consumo de energía.

Así mismo se ha de determinar la rentabilidad del proyecto realizando una evaluación técnica, económica y financiera.

Este sistema estará conformado por los siguientes equipos y/o componentes:

<b>Equipos y/o Componentes</b>	<b>Descripción</b>
Generador Fotovoltaico	Está formado por un generador de 16 paneles solares del tipo policristalino, estos se instalarán en el techo del Complejo Policial; la potencia de cada panel solar es de 265 Wp.
El convertidor o inversor	El inversor utilizado es de tipo onda pura cuya potencia es de 4.5kW

**Fuente:** Elaboración Propia

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1.-SISTEMA CONVENCIONAL DE GENERACION ELECTRICA.**

Se denomina así a todas las energías que son de uso frecuente en el mundo o que son las fuentes más comunes para producir energía eléctrica. En nuestro país, la principal fuente de energía es la fuerza del agua, como medio de producir energía eléctrica. El agua utilizada para este fin pertenece al medio ambiente natural en que vivimos y se considera un recurso de la clase renovable. Son ejemplos de energía convencional: el petróleo, carbón mineral, gas natural, la electricidad, etc.

En el “Complejo Policial La Despensa” donde se ha desarrollar el presente trabajo tiene como energía convencional a la electricidad donde tienen proyectado luminarias fluorescentes.

#### **COSTO DE GENERACION.**

El sistema convencional permitía cubrir con la demanda eléctrica de las luminarias, y su régimen de trabajo era de hasta 9 horas por día. A continuación se describe el consumo de este sistema. Se ha considerado que el precio del kW/mes es de 0.5939 (fuente: Osinergmin –Anexo I).



Tabla 5.-Costo Anual -Sistema Convencional.

CONSUMO ANUAL DE LUMINARIAS FLOURESCENTES EN SISTEMA DE GENERACION ELECTRICA CONVENCIONAL

MES	KWH-DIA	DIAS X MES	KWH-MES	PRECIO-KWH	CONSUMO EN S/
ENERO	38.9478	31	1207.38	S/. 0.5939	S/. 717.06
FEBRERO	38.9478	28	1090.54	S/. 0.5939	S/. 647.67
MARZO	38.9478	31	1207.38	S/. 0.5939	S/. 717.06
ABRIL	38.9478	30	1168.43	S/. 0.5939	S/. 693.93
MAYO	38.9478	31	1207.38	S/. 0.5939	S/. 717.06
JUNIO	38.9478	30	1168.43	S/. 0.5939	S/. 693.93
JULIO	38.9478	31	1207.38	S/. 0.5939	S/. 717.06
AGOSTO	38.9478	31	1207.38	S/. 0.5939	S/. 717.06
SEPTIEMBRE	38.9478	30	1168.43	S/. 0.5939	S/. 693.93
OCTUBRE	38.9478	31	1207.38	S/. 0.5939	S/. 717.06
NOVIEMBRE	38.9478	30	1168.43	S/. 0.5939	S/. 693.93
DICIEMBRE	38.9478	31	1207.38	S/. 0.5939	S/. 717.06
CONSUMO ANUAL EN SOLES					S/. 8,442.85

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2.-MÁXIMA DEMANDA ELÉCTRICA.

La máxima demanda del “Complejo policial La Despensa” se determinó considerando la potencia eléctrica de luminarias led.

Para el proyecto a implementar en el “Complejo policial La Despensa” no se han considerado las cargas muy elevadas, así mismo se trató de disminuir el consumo de energía remplazando el sistema de iluminación por tecnología led, además se priorizaron las cargas según lo recomendado por el proyectista.

En la siguiente tabla se detalla las cargas principales que se han considerado para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico propuesto.

Tabla 6.-Máxima Demanda en luminarias. <sup>41</sup>

## BLOQUE A

BLOQUE A -PRIMER PISO	LU	PLU	TIPO	F	POTENCIA	HDIA	WHDIA	KWHDIA
SERVICIOS HIGIENICOS JC	1	7	7-E27	RE	7	0.8	5.6	0.0056
JEFATURA DE COMISARIA	3	36	4X9W-60CM	C	108	7	756	0.756
ARCHIVO	1	12.5	12.5-E27	RE	12.5	0.5	6.25	0.00625
ADMINISTRACION	2	36	4X9W-60CM	C	72	7	504	0.504
ARMERIA	1	12.5	12.5-E27	RE	12.5	0.2	2.5	0.0025
ENTRADA ESPERA	1	12.5	12.5-E27	RE	12.5	7	87.5	0.0875
JEFATURA DE INVST CRIMINAL	2	36	4X9W-60CM	C	72	7	504	0.504
SECRETARIA Y MESA DE PARTES	4	36	4X9W-60CM	C	144	7	1008	1.008
BAÑO MUJERES	2	10	10-E27	RE	20	0.8	16	0.016
BAÑO HOMBRES	2	10	10-E27	RE	20	0.8	16	0.016
CONTROL	2	36	4X9W-60CM	C	72	7	504	0.504
DATA CENTER	4	36	2X18W-120CM	R	144	7	1008	1.008
HALL -ESPERA -PREVENCION	4	18	2X9W-60X20CM	R	72	7	504	0.504
OPERADOR DE JUSTICIA	2	36	4X9W-60CM	C	72	1	72	0.072
OPERADOR DE JUSTICIA -JUEZ	2	36	2X18W-120CM	R	72	1	72	0.072
OF DE FALTAS-ENTREV-DENUNCIAS	4	36	2X18W-120CM	R	144	7	1008	1.008
PASADIZO SECCION F	1	18	1X18W-120CM	R	18	7	126	0.126
RETENCION DE MENORES	1	36	4X9W-60CM	C	36	0.5	18	0.018
SECCION FALTAS	5	36	4X9W-60CM	C	180	7	1260	1.26
HALL	1	18	2X9W-60X20CM	R	18	7	126	0.126
PASADIZO HALL-ESCALERAS	1	10	10-E27	RE	10	7	70	0.07
VESTIBULO	1	18	2X9W-60X20CM	R	18	7	126	0.126
INVESTIGACION CRIMINAL	5	36	4X9W-60CM	C	180	7	1260	1.26
CIRCULACION ESCALERAS	1	18	1X18W-120CM	R	18	7	126	0.126
CIRCULACION CALABOZOS	1	18	1X18W-120CM	R	18	1	18	0.018
CALABOZO MUJERES	1	18	2X9W-60X20CM	R	18	0.5	9	0.009
CALABOZO HOMBRES	1	18	2X9W-60X20CM	R	18	0.5	9	0.009
CONTROL-ENTRADA	1	7	7-E27	RE	7	0.5	3.5	0.0035

<sup>41</sup> Fuente: Elaboración propia en Excel, datos del expediente técnico “Complejo policial La Despensa”.

SERVICIOS HIGIENICOS C-E	1	7	7-E27	RE	7	0.2	1.4	0.0014
					1602.5		9226.8	9.2268

BLOQUE A-SEGUNDO PISO	TOTAL LU	WLU	TIPO	F	WXTL	HDIA	WHDIA	KWHDIA
BAÑO ST	1	7	7-E27	RE	7	0.5	3.5	0.0035
CUARTO DE LIMPIEZA	1	7	7-E27	RE	7	0.5	3.5	0.0035
JEFATURA DE ORDEN PUB Y SEG	3	36	4X9W-60CM	C	108	6	648	0.648
HALL 01	2	18	2X9W-60X20CM	R	36	7	252	0.252
PATRULLAJE A PIE	4	36	4X9W-60CM	C	144	7	1008	1.008
PATRULLAJE MOTORIZADO	2	36	4X9W-60CM	C	72	7	504	0.504
PLANEAMIENTO ADMINISTRATIVO	4	36	4X9W-60CM	C	144	10	1440	1.44
SALA DE PLANEAMIENTO OP Y DES	2	36	4X9W-60CM	C	72	5	360	0.36
OF DE PLANEAM OPERATIVO	2	36	4X9W-60CM	C	72	5	360	0.36
BAÑOS MUJERES	2	10	10-E27	RE	20	0.5	10	0.01
BAÑOS HOMBRES	2	10	10-E27	RE	20	0.5	10	0.01
OFICINA DE INTELIGENCIA	2	36	2X18W-120CM	R	72	7	504	0.504
HALL 02	3	18	2X9W-60X20CM	R	54	7	378	0.378
PASADIZO 01	3	18	1X18W-120CM	R	54	7	378	0.378
ESPERA	1	18	2X9W-60X20CM	R	18	7	126	0.126
TRANSITO	5	36	4X9W-60CM	C	180	7	1260	1.26
OFICINA DE PARTICIUDADANA	4	36	4X9W-60CM	C	144	7	1008	1.008
PASADIZO	2	18	1X18W-120CM	R	36	7	252	0.252
BAÑOS MUJERES 01	2	10	10-E27	RE	20	1	20	0.02
BAÑOS HOMBRES 02	2	10	10-E27	RE	20	1	20	0.02
PASADIZO HALL-ESCALERAS	1	10	10-E27	RE	10	7	70	0.07
VESTIBULO	1	18	2X9W-60X20CM	R	18	1	18	0.018
					1328		8633	8.633

BLOQUE A-TERCER PISO	TOTAL LU	WLU	TIPO	F	WXTL	HDIA	WHDIA	KWHDIA
SERVICIOS HIGIENICOS PUBLICOS	2	12.5	12.5-E27	RE	25	1	25	0.025
ESPERA	3	18	2X18W-60X20CM	R	54	7	378	0.378
HALL	3	18	2X9W-60X20CM	R	54	5	270	0.27

ESPERA Y HALL	7	18	2X9W-60X20CM	R	126	5	630	0.63
PASADIZO ESCALERAS -ESPERA	1	10	10-E27	RE	10	7	70	0.07
VESTIBULO	1	18	2X9W-60X20CM	R	18	1	18	0.018
BAÑOS OF MUJERES	2	12.5	12.5-E27	RE	25	2	50	0.05
PASADIZO	2	18	1X18W-120CM	R	36	5	180	0.18
					348		1621	1.621

TOTAL BLOQUE A					3278.5		19481	19.481
----------------	--	--	--	--	--------	--	-------	--------

**Fuente:** Elaboración Propia

El consumo de energía en luminarias led es de 19.481 kwh-dia.

### 5.3.-SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

La instalación solar fotovoltaica proyectada, se ubicará en la parte plana de la azotea del Complejo Policial La Despensa (bloque A). El generador fotovoltaico estará formado por 01 generadores fotovoltaico, constara de 16 paneles policristalinos marca JINKO SOLAR modelo JKM265P-60, y su potencia máxima total del generador será de 4240.26 W.

Los módulos fotovoltaicos se situarán sobre soportes metálicos fijos pero se les proporcionará la capacidad de regular su inclinación manualmente por los operarios encargados del mantenimiento de la instalación entre dos posiciones diferentes dependiendo de la época del año en la que esté funcionando el generador.

La instalación eléctrica del proyecto será una sola que irá desde los paneles solares hasta el punto de conexión a la red de baja tensión. El generador fotovoltaico estará formado 2 ramales en paralelo y cada ramal tendrá 8 paneles conectados en serie, al final de cada ramal se colocarán fusibles y diodos de bloqueo a modo de protección y a continuación los dos ramales se unirán en la caja de conexión del generador fotovoltaico de donde saldrán los conductores al inversor. El inversor encargado de la conversión de la corriente continua generada por el generador fotovoltaico a corriente alterna que se inyectará posteriormente a la red se situará en el cuarto de control eléctrico ubicado en la azotea del bloque A cerca del generador, se ha buscado que el inversor sea el más eficiente y que cumpla con la reglamentación y los rangos de operación necesarios para el correcto funcionamiento de los paneles solares, como el rango de tensiones de entrada al inversor, la tensión máxima de entrada, la corriente máxima, etc.

Para la protección tanto de los equipos de la instalación como de las personas responsables de su mantenimiento y operación, se debe seguir el reglamento eléctrico de baja tensión vigente con la colocación de un interruptor diferencial y un interruptor general manual en la conexión a la red de baja tensión, se deben seguir también los requisitos de conexión de la empresa distribuidora de la zona ENSA, por ejemplo: la colocación de fusibles a la entrada de la red.

Además se deben seguir también las normas generales para la protección de instalaciones eléctricas que aparecen en el Reglamento Electrotécnico de Baja

Tensión. Por ejemplo: la colocación de fusibles, interruptores-seccionadores, varistores, etc. en los diferentes tramos de la instalación solar.

Por último, se solicitará la autorización de conexión por parte de ENSA para la conexión de la planta solar fotovoltaica a la red de baja tensión e inyectar la potencia generada por la misma a dicha red.

### 5.3.1.-Ubicación y Radiación solar de la zona.

Utilizando información básica sobre la zona de ubicación del “Complejo Policial La Despensa”, y con ayuda de google Earth obtenemos las coordenadas de latitud y longitud.

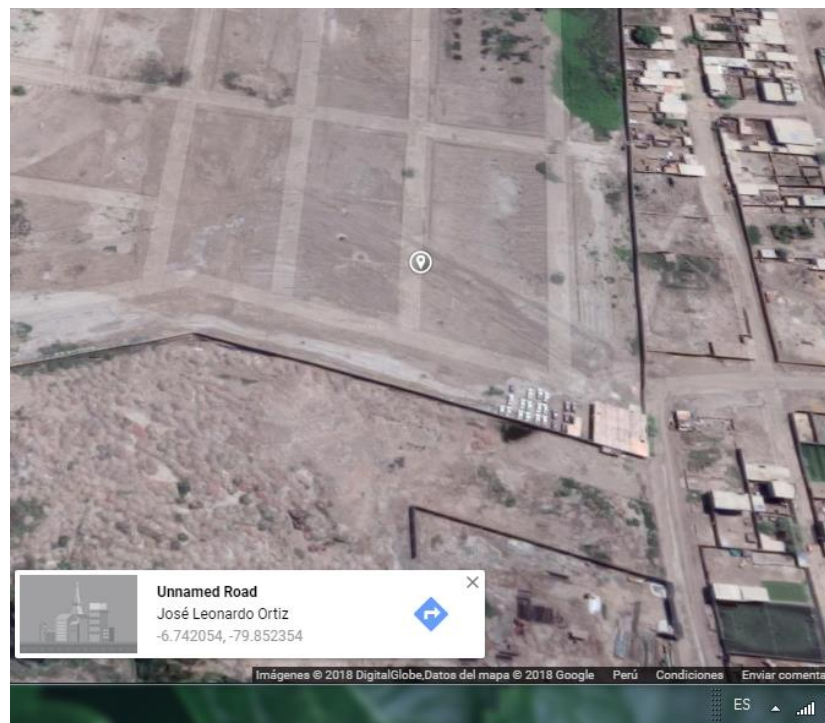


FIGURA 33.-Latitud y longitud “Complejo Policial La Despensa”.<sup>42</sup>

<sup>42</sup> <https://www.coordenadas-gps.com/>

Coordenadas:

LATITUD: -6.742054.

LONGITUD: -79.852354.

La radiación solar dada en horas sol pico está dada por el atlas solar del Perú, en donde está dada por mes y su promedio anual es: 4.7 kWh/m<sup>2</sup>

Tabla 7: Datos de radiación solar – Distrito José Leonardo Ortiz.

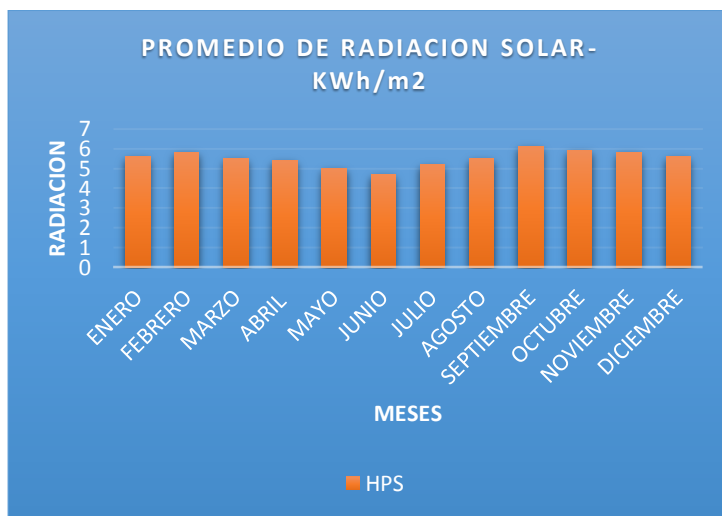
MES	N° Días	HPS
Enero	31	5.6
Febrero	28	5.8
Marzo	31	5.5
Abril	30	5.4
Mayo	31	5.0
Junio	30	4.7
Julio	31	5.2
Agosto	31	5.5
Septiembre	30	6.1
Octubre	31	5.9
Noviembre	30	5.8
Diciembre	31	5.6

**Fuente:** Atlas solar del Perú<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> <http://deltavolt.pe/atlas/atlassolar/radiacion-mes>

Tabla 8.-Promedio de radiación solar -HPS.<sup>44</sup>



### 5.3.2- Características y especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.

Los paneles solares serán un total de 16 unidades, de marca JINKO SOLAR, policristalinos, modelo JKM265P-60. Las características del panel se muestran en la tabla 9.

Tabla 9.-Características Mecánicas Panel Fotovoltaico.<sup>45</sup>

<sup>44</sup> FUENTE: Elaboración propia con atlas de radiación solar.

<sup>45</sup> [https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60\(4BB\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60(4BB).pdf)



Características mecánicas		
Tipo de célula	Policristalina	156×156mm (6 pulgadas)
Nº de células	60 (6×10)	
Dimensiones	1650×992×40mm (65,00×39,05×1,57 pulgadas)	
Peso	19.0kg (41.9 libras)	
Vidrio frontal	3,2 mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado	
Estructura	Aleación de aluminio anodizado	
Caja de conexión	Clase IP67	
Cables de salida	TÜV 1×4,0 mm², longitud:900 mm	

Tabla 10.-Especificaciones técnicas Panel Fotovoltaico. <sup>46</sup>

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
TIPO DE CELULA	JKM265P
POTENCIA NOMINAL(PMAX)	265Wp
TENSION EN EL PUNTO PMAX-VMPP(V)	31.4V
CORRIENTE EN EL PUNTO PMAX-IMPP(I)	8.44A
TENSION EN CIRCUITO ABIERTO-VOC(V)	38.6V
CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO-ISC(I)	9.03A
EFICIENCIA DEL MODULO-%	16.19%
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	T(-40°C -+85°C)
TENSION MAXIMA DEL SISTEMA	1000VDC(IEC)
VALORES MAXIMOS RECOMENDADOS DE LOS FUSIBLES	15A
TOLERANCIA DE POTENCIA NOMINAL (%)	(0-+3%)
COEFICIENTE DE TEMPERATURA PMAX	(-0.41%/°C)
COEFICIENTE DE TEMPERATURA VOC	(-0.31%/°C)
COEFICIENTE DE TEMPERATURA ISC	(0.06%/°C)
TEMPERATURA OPERACIONAL NOMINAL DE CELULA	45+- 2°C
RADIACION STC	1000W/M2

### 5.3.3-Selección del inversor.

Una de las decisiones más importantes que se deben tomar en este tipo de diseños es la elección correcta del inversor. El inversor debe cumplir las

<sup>46</sup> [https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60\(4BB\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60(4BB).pdf)

normas establecidas por el Pliego de Condiciones Técnicas, para este proyecto estamos considerando las de España (Pliego de condiciones técnicas IDAE), como los requerimientos técnicos que imponen los paneles solares, se calcularán las tensiones y corrientes máximas y mínimas que podrán tenerse a la salida del generador, teniendo en cuenta tanto el funcionamiento normal de los paneles solares a la hora de entregar la máxima potencia como el funcionamiento de los paneles solares cuando están sometidos a condiciones de temperatura distintas a las establecidas en las condiciones estándar de medida.

#### **Tensión y corriente en el punto de máxima potencia.**

Uno de los puntos a considerar a la hora de la elección del inversor será que esté equipado con un dispositivo electrónico de seguimiento del punto de máxima potencia de los paneles para así obtener la máxima eficiencia energética del generador, por lo tanto se considerará que en condiciones normales de funcionamiento, se entregará la máxima potencia a una tensión dada en la hoja de características.

La tensión normal de funcionamiento o tensión de máxima potencia del generador fotovoltaico conociendo la disposición de los paneles en serie y paralelo a la cual deberá funcionar el inversor en condiciones normales, vendrá dada al multiplicar la tensión del punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ ) de cada panel por el número de paneles en serie en cada ramal del generador:

$$V_{mpp} \text{ TOTAL} = V_{mpp} * NS = 31.4 \times 8 = 251.2 \text{ V}$$

Y la corriente que suministra el generador fotovoltaico cuando proporciona la máxima potencia vendrá dada al multiplicar la corriente del punto de máxima potencia ( $I_{mpp}$ ) de cada panel por el número de paneles en paralelo o ramales:

$$I_{mpp\ TOTAL} = I_{mpp} * NP = 8.44 \times 2 = 16.88\ A$$

### **Inversor elegido.**

Para la elección del inversor a instalar para la conversión de potencia continua a potencia alterna del generador solar fotovoltaico y posterior inyección a la red eléctrica, deberán considerarse que sumando las potencias de las Luminarias led, sumando las potencias será igual a 3278.5 W. Usando este valor más un 30% de la potencia,  $(3278.5W + (30\%) 3278.5) = 4262.05\ W$ , en donde se elegirá un inversor monofásico de 4.5 KW. En donde sus datos de entrada y de salida están en sus especificaciones técnicas.

El rango de tensiones en que el inversor puede trabajar oscila entre 150 y 800 V, por tanto trabajará perfectamente bajo cualquiera de las condiciones en las que se encuentren los paneles fotovoltaicos. La máxima tensión de entrada en CC del inversor es de 1000 V, cumpliendo perfectamente con los requerimientos técnicos de la instalación solar. La corriente máxima de entrada al inversor es de 24 A, que es superior a la corriente máxima proporcionada por los paneles solares.

Tabla 11.-Especificaciones técnicas del inversor FRONIUS SYMO 4.5-3-S.<sup>47</sup>

DATOS TECNICOS INVERSOR FRONIUS SYMO 4.5-3-S,4.5KW	
Max. Voltaje De Entrada (V)	1000
Min. MPP Tensión (V)	300
Max. MPP Tensión (V)	800
Max. Potencia (kW)	4,69
Potencia nominal AC (kVA)	4,5
Max. Rendimiento (%)	98
Clase de protección	IP55
Longitud (mm)	645
Ancho (mm)	431
Altura (mm)	204
Peso (kg)	16
Número de MPP	1
Max. Potencia CC, Entrada 1 (kW)	4,69
Max. Corriente De Entrada, La Entrada 1 (A)	16-24

#### 5.3.4-Cableado.

La instalación solar fotovoltaica se ha dividido en varios tramos de conexión entre los diferentes equipos. Dichos tramos de cableado poseen diferente

<sup>47</sup> [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-591214906-inversor-fronius-symo-150-3-150kw-3-fases-208-240v-1-mppt-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-591214906-inversor-fronius-symo-150-3-150kw-3-fases-208-240v-1-mppt-_JM)

sección de conductores puesto que la carga que circulará por cada uno de ellos será diferente dependiendo de los equipos que interconecten. Como se decidió anteriormente, el generador fotovoltaico estará formado en el tema de cableado por 2 ramales en paralelo, y cada ramal por 8 paneles solares en serie.

La instalación está diferenciada por los siguientes tramos:

- a. Módulos solares → Caja de conexión de ramal.
- b. Caja de conexión de ramal → Caja de conexión del generador fotovoltaico
- c. Caja de conexión del generador fotovoltaico → Inversor
- d. Inversor → Punto de conexión a la red de baja tensión.

Para los tramos de corriente continua se utilizarán conductores unipolares de cobre con nivel de aislamiento 0,6/1kV con aislamiento en PVC. El tipo de instalación será de conductores con doble aislamiento en tubos en montaje superficial o empotrado en obra según la definición del Reglamento Eléctrico de Baja Tensión (REBT) en la norma ITC –BT – 19. Para el cálculo de la sección del cable se debe cumplir lo siguiente:

- a. Que la corriente máxima admisible del cable sea superior a la máxima corriente que circule por él.
- b. Que con la caída de tensión máxima que produzca el cable al circular por él, la corriente máxima sea inferior a un cierto valor

En instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, los conductores de la parte de CC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior a 1.5% y los de la parte de CA, para que la caída de tensión sea inferior al 2%. En la tabla 12 se muestran las características de los circuitos eléctricos presentes en los sistemas fotovoltaicos conectados a red.

Tabla 12.-Características de circuitos eléctricos en el SFCR.

	<b>CAMPO FOTOVOLTAICO- INVERSOR</b>	<b>INVERSOR-RED</b>
<b>TIPO DE CORRIENTE</b>	Continua	Alterna (monofásica, trifásica)
<b>LIMITES</b>	Desde terminales principales del campo generador hasta terminales de entrada del inversor	Desde terminales de salida del inversor hasta el punto de conexión de la empresa de distribución con la red
<b>CABLEADO</b>	Cable bipolar bajo tubo(al aire o enterrado)	Cable bipolar o tripolar bajo tubo(al aire o enterrado)
<b>INTENSIDAD</b>	Hasta de 50 A, aproximadamente	Según la potencia del inversor
<b>TENSION</b>	Hasta de 500 V, aproximadamente	230V monofásica, 400V trifásica.
<b>CAIDA DE TENSION</b>	Máxima 1.5%	Máxima 2%

FUENTE: Elaboración propia.

El trazado de los tubos se hará siguiendo preferentemente líneas verticales y horizontales o paralelas a las aristas de las paredes que limitan al lugar donde se efectúa la instalación. Para el cálculo de la sección en los tramos de corriente continua se utilizará la siguiente ecuación:

$$S = 2 \cdot L \cdot I_{cc} / C \cdot u$$

Donde:

- a. **S** es la sección teórica del conductor en [mm<sup>2</sup>].
- b. **L** es la longitud del conductor [m].
- c. **I<sub>cc</sub>** es la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles [A].
- d. **u** es la caída de tensión [V] que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1,5%.
- e. **C** es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizará cobre y su conductividad es 56m/O\*mm<sup>2</sup>.

En el último tramo de la instalación donde ya se ha producido la conversión de corriente continua a corriente alterna (trifásica), la sección teórica mínima que se utilizará en los conductores, vendrá dada por la ecuación.

$$S = L \cdot P / C \cdot u \cdot U$$

Donde:

- a. **S** es la sección teórica del conductor en [mm<sup>2</sup>].
- b. **L** es la longitud del conductor [m].
- c. **P** es la potencia máxima que transporta el cable [W].
- d. **u** es la caída de tensión [V] que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de alterna es del 2%.
- e. **C** es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizará cobre y su conductividad es 56m/O\*mm<sup>2</sup>.
- f. **U** es la tensión de línea de la red [V].

Tabla 13.-Tabla de datos técnicos THW-90.<sup>48</sup>

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

<sup>48</sup><http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000464.pdf>



Tabla 14.-Tabla de datos técnicos THW-90/AWG.<sup>49</sup>

CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

## Tramos de cableado.

### Módulos solares → Caja de conexión de ramal.

Estará comprendido entre la salida de cada uno de los ramales del generador conectados en serie y una caja de conexión de ramal donde llegarán las salidas de los 2 ramales de paneles fotovoltaicos conectados en serie. En dicha caja de conexión se alojarán los elementos encargados de la protección de cada uno de los 2 ramales por separado y las protecciones del cableado de cada grupo. A la caja de conexión de grupo llegarán 2 conductores; uno correspondiente a los polos positivos de cada ramal y uno correspondiente a

<sup>49</sup> <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000464.pdf>

los negativos y saldrán 2 conductores, uno de polaridad negativa y otro de polaridad positiva.

Los parámetros para el cálculo de la sección mínima de los conductores de este tramo son:

- a.  $L$  es la longitud del conductor (mts). Se tomará como longitud del cable la distancia del módulo más alejado hasta la caja de conexión de grupo, 10 m.
- b.  $I_{cc}$  es la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles (A). Cada ramal suministrará una corriente máxima igual a la de cortocircuito de cada uno de los módulos que lo forman, 9.03 A.
- c. La caída de tensión " $u$ " que como máximo podrán tener los conductores. "Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1.5%". En este tramo existirá una tensión igual a la tensión del punto de máxima potencia de cada panel  $V_{mpp} = 31.4$  V, por el número de paneles en serie que forman cada ramal, 8 paneles, por lo tanto la tensión en este tramo es de  $31.4 \text{ V} \times 8 \text{ paneles} = 251.2$  V.
- d.  $C$  es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizará cobre y su conductividad es  $56 \text{ m/O} \cdot \text{mm}^2$

Al tratarse de un tramo de corriente continua, la sección mínima que deben tener los conductores será de:

$$S=2 \times 10 \times 9.03 / 0.015 \times 308.8 \times 56 = 0.4187 \text{ mm}^2$$

La sección normalizada inmediatamente superior a la calculada es de **2.5 mm<sup>2</sup>**. Atendiendo a la tabla de datos técnicos THW-90. Este valor es superior a la máxima corriente que circulará por los conductores de este tramo que será de 9.03A, con lo cual el conductor de 2.5 mm<sup>2</sup> es válido (30 A).

**Caja de conexión de ramal → Caja de conexión del generador fotovoltaico.**

Estará comprendido entre cada caja de conexión de ramal hasta la caja de conexión del generador fotovoltaico, de donde saldrán 2 conductores uno positivo y otro negativo hacia el inversor. En esta caja de conexión del generador se encuentran los elementos necesarios para la protección del generador fotovoltaico completo.

Los parámetros para el cálculo de la sección mínima de los conductores de este tramo son:

- a. L es la longitud del conductor (mts). Se tomará como longitud del cable la distancia del módulo más alejado hasta la caja de conexión de grupo, 5 m
- b. I<sub>cc</sub> es la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles (A). Cada ramal suministrará una corriente máxima igual a la de cortocircuito de cada uno de los módulos que lo forman, 9.03 A.
- c. La caída de tensión “u” que como máximo podrán tener los conductores.

“Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de

tensión permitida en conductores de continua es del 1.5%". En este tramo existirá una tensión igual a la tensión del punto de máxima potencia de cada panel  $V_{mpp} = 38.6 \text{ V}$ , por el número de paneles en serie que forman cada ramal, 8 paneles, por lo tanto la tensión en este tramo es de  $38.6\text{V} \times 8 \text{ paneles} = 308.8 \text{ V}$ .

- d. C es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizará cobre y su conductividad es  $56 \text{ m/O} \cdot \text{mm}^2$

Al tratarse de un tramo de corriente continua, la sección mínima que deben tener los conductores será de:

$$S = 2 \times 5 \times 9.03 / 0.015 \times 308.8 \times 56 = 0.3481 \text{ mm}^2$$

La sección normalizada inmediatamente superior a la calculada es de **2.5mm<sup>2</sup>**. Atendiendo a la tabla de datos técnicos THW-90. Este valor es superior a la máxima corriente que circulará por los conductores de este tramo que será de 9.03A, con lo cual el conductor de 2.5 mm<sup>2</sup> es válido (30 A).

#### **Caja de conexión del generador fotovoltaico → Inversor:**

Estará comprendido entre cada caja de conexión del generador fotovoltaico de donde salen dos conductores principales que transportan la potencia del generador fotovoltaico de la azotea hasta el cuarto de control eléctrico ubicado en la primera planta, donde estará situado el inversor.

Al inversor llegan dos cables, uno positivo y otro negativo correspondiente al final del circuito de CC y a la salida comienza el último tramo correspondiente al circuito de CA

Los parámetros para el cálculo de la sección mínima de los conductores de este tramo son:

- a. L es la longitud del conductor (mts). Se tomará como longitud del cable la distancia del módulo más alejado hasta la caja de conexión de grupo, 30 m
- b.  $I_{cc}$  es la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles (A). Cada ramal suministrará una corriente máxima igual a la de cortocircuito de cada uno de los módulos que lo forman, 9.03 A, en donde son 5 ramales,  $9.03 \times 2 = 18.06$  A
- c. La caída de tensión “u” que como máximo podrán tener los conductores. “Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1.5%”.  
  
En este tramo existirá una tensión igual a la tensión del punto de máxima potencia de cada panel  $V_{mpp} = 38.6$  V, por el número de paneles en serie que forman cada ramal, 8 paneles, por lo tanto la tensión en este tramo es de  $38.6 \text{ V} \times 8 \text{ paneles} = 308.8$  V.
- d. C es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizará cobre y su conductividad es  $56 \text{ m/O} \cdot \text{mm}^2$

Al tratarse de un tramo de corriente continua, la sección mínima que deben tener los conductores será de:

$$S=2 \times 30 \times 18.06 / 0.015 \times 308.8 \times 56 = 4.1774 \text{ mm}^2$$

La sección normalizada inmediatamente superior a la calculada es de **6 mm<sup>2</sup>**. Atendiendo a la tabla de datos técnicos THW-90. Este valor es superior a la máxima corriente que circulará por los conductores de este tramo que será de 18.06 A, con lo cual el conductor de 6 mm<sup>2</sup> es válido (40A).

#### **Inversor → Red de baja tensión.**

Estará comprendido desde la salida monofásica del inversor hasta el punto de conexión a la red de baja tensión donde se inyectará la potencia continua producida por el generador fotovoltaico convertida a alterna por el inversor. Este circuito será en corriente alterna y su instalación será diferente a los demás tramos diseñados anteriormente.

Los parámetros para el cálculo de la sección mínima de los conductores de este tramo son:

- a. L es la longitud del conductor [m]. Se tomará como longitud del cable, la distancia entre la caseta del inversor y el punto de conexión a la red de baja tensión, 15 m.
- b. P es la potencia máxima que transporta el cable [W]. Será la potencia máxima en alterna que puede entregar el inversor a su salida, 4500 W.
- c. U es la tensión de la red [V]. A la salida del inversor la tensión será constante con valor 220 V.
- d. -u es la caída de tensión [V] que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de alterna es del 2%.
- e. -C es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso siempre se utilizará cobre y su conductividad es  $56 \text{ m/O} \cdot \text{mm}^2$ .

El cableado del último tramo se realizará con conductores de cobre aislado en PVC puesto bajo tubo y al tratarse de un tramo de corriente alterna, la sección mínima que los conductores deben tener será de:

$$S = 15 \times 4500 / 56 \times 8 \times 400 = 0.3767 \text{ mm}^2.$$

Esta sección es válida teniendo en cuenta la longitud del tramo entre el inversor y el punto de conexión a red, pero esto no basta, porque también hay que tener en cuenta la cantidad máxima de corriente que se puede inyectar a

la red, y esta viene dada por el inversor 6.5 A. La sección normalizada elegida es de **4 mm<sup>2</sup>**.

Atendiendo a la tabla de aislamiento PVC e instalación de conductores aislados en tubos o canales en montaje superficial o empotrado en obra, es de 6.5 A. Este valor es superior a la máxima corriente que circulará desde la salida del inversor hasta el punto de conexión de la red de baja tensión que es de 6.5 A, con lo cual el conductor de 4 mm<sup>2</sup> es válido (35A). En la tabla 15 se presenta un resumen de los cables que se usarán en la instalación del sistema fotovoltaico conectado a red:



Tabla 15.-Sección y longitud de conductores THW-90 en socr.

TRAMOS	CONDUCTOR	LONGITUD	+, -	TOTAL (metros)
MODULOS SOLARES –CAJA DE CONEXIÓN DE RAMAL	2.5 mm <sup>2</sup>	20	3	60
CAJA DE CONEXIÓN DE RAMAL-CAJA DE CONEXIÓN DE GENERADOR FOTOVOLTAICO	2.5 mm <sup>2</sup>	5	3	15
CAJA DE CONEXIÓN DE GENERADOR FOTOVOLTAICO-INVERSOR	6 mm <sup>2</sup>	30	3	90
INVERSOR-RED DE BAJA TENSION	4 mm <sup>2</sup>	15	3	45

FUENTE: Elaboración propia.

#### 5.3.5.-Puesta a tierra de la instalación fotovoltaica conectada a red.

Para la protección de la propia instalación y de los posibles operarios encargados del mantenimiento de la misma, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que deben conectarse correctamente todas las masas metálicas de una instalación con tierra, con el objetivo de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima al terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de la corriente de defecto o las descargas de origen atmosférico. Según la norma ITC-BT-18 “Instalaciones de puesta a tierra”, del Reglamento Electrotécnico de baja Tensión, la puesta a tierra de una instalación está compuesta por:(ver figura 40)

**Tomas a tierra:** Son electrodos formados por barras, tubos pletinas o mallas que están en contacto directo con el terreno donde se drenará la corriente de fuga que se pueda producir en algún momento, estas tomas a tierra deberán ser de materiales específicos y estarán enterrados a una profundidad adecuada para las características de la instalación a proteger.

**Conductores de tierra:** Son los conductores que unen el electrodo de la puesta a tierra de la instalación con el borne principal de la puesta a tierra.

**Bornes de puesta a tierra:** Son la unión de todos los conductores de protección de la instalación que provienen de los diferentes elementos o masas a proteger.

**Conductores de protección:** Sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos, con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos. Unirán las masas al borne de puesta a tierra y con ello al conductor de tierra.

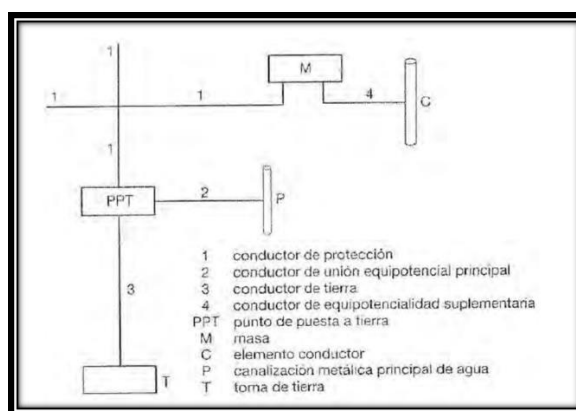


FIGURA 34.-Representación esquemática de Puesta a tierra.<sup>50</sup>

<sup>50</sup> <http://www.edu.xunta.gal/centros/cifpcoroso/gl/system/files/REBT-2011.pdf>

Según la norma ITC–BT– 18 del REBT (Reglamento Eléctrico de Baja Tensión), los conductores de protección deberán ser del mismo material que los conductores activos utilizados en la instalación, en este caso serán de cobre e irán alojados en la canalización utilizada para los conductores activos de la instalación.

#### 5.4.-ENERGIA ELECTRICA GENERADA- SFVI.

En este apartado estudiaremos el diseño de la instalación fotovoltaica comprobando como influyen sobre el rendimiento, la rentabilidad y el medio ambiente los principales parámetros energéticos que se obtienen en el emplazamiento elegido:

$$EAC = PPMP \times (G_{daeff} / G') \times FS \times PR$$

**PPMP** = Potencia nominal o potencia máxima que entrega el generador en condiciones estándar de medida (1000 W/m<sup>2</sup> de irradiancia y 25°C de temperatura de célula).

**G<sub>daeff</sub>** = Irradiación anual efectiva que incide sobre la superficie del generador.

**G'** = Es el valor de la irradiancia a la que se determina la potencia nominal de las células y los generadores fotovoltaicos, precisamente 1000 W/m<sup>2</sup>.

**FS** = Factor de seguridad que considera las perdidas por orientación e inclinación, distinta de la óptima y por sombras. FS = 1.

**PR** = Factor de rendimiento que considera las pérdidas energéticas asociadas a la conversión DC/AC y al hecho de que el rendimiento de las células solares en la realidad es inferior al que indica el valor de su potencia nominal, ya que la

temperatura de operación suele ser notablemente superior a 25°C (Valores comprendidos entre 0,7 y 0,75).  $PR = 0.75$ .

Tabla 16.-Energía generada SFCR.

MES	DIAS	ENERGIA DISPONIBLE -KWH/M2	CANTIDAD HORAS SOL	K	ENERGIA POR MES - KWH/M2
Enero	31	5.6	8.7	0.9	156.24
Febrero	28	5.8	8.9	0.9	146.16
Marzo	31	5.5	9.2	0.9	153.45
Abril	30	5.4	9.1	0.9	145.80
Mayo	31	5	8.9	0.9	139.50
<b>Junio</b>	<b>30</b>	<b>4.7</b>	<b>8.8</b>	<b>0.9</b>	<b>126.90</b>
Julio	31	5.2	8.5	0.9	145.08
Agosto	31	5.5	9	0.9	153.45
Septiembre	30	6.1	9.4	0.9	164.70
Octubre	31	5.9	9.3	0.9	164.61
Noviembre	30	5.8	8.8	0.9	156.60
Diciembre	31	5.6	8.6	0.9	156.24
ENERGIA GENERADA Gdaeff(kwh/m2.año)					1808.73

FUENTE: Elaboración propia.

La potencia pico del Campo Generador, la determinamos de la siguiente manera:

Número de paneles fotovoltaicos:  $N = 16$

Potencia máxima de nuestros paneles fotovoltaicos: 265 W

Potencia Pico de Campo Generador:  $PPMP = 16 \times 265 = 4240 \text{ W}$

Hallamos entonces la producción de Energía mensual del Campo Generador:

Aplicando la ecuación, podemos calcular la energía mensual generada:

**EAC = 5751.7614 kWh**

## 5.5.-ESTUDIO DE RENTABILIDAD SFVI.

En la presente sección del capítulo se procederá a realizar el análisis económico – financiero del proyecto. De esta manera el análisis financiero que se expondrá a continuación permitirá conocer la viabilidad económica del proyecto propuesto para el “Complejo Policial La Despensa”. En este sentido se hará uso de algunos indicadores que permitirán evaluar la implementación del Sistema Fotovoltaico.

Los indicadores que se utilizarán son el Valor Actual Neto (VAN), el cual nos mostrará en el presente el valor de los flujos de dinero del fundo utilizando una Tasa de Descuento; la Tasa Interna de Retorno (TIR) será otro indicador a utilizar, la cual representa la rentabilidad porcentual del proyecto.

Sin embargo, para hacer uso de estos indicadores, en primer lugar se procederá a determinar los diferentes ingresos y egresos monetarios del proyecto.

### 5.5.1.-Presupuesto de la instalación.

En la tabla 17 se muestra la lista de precios de los diferentes equipos y materiales que se utilizarán para la construcción de la instalación fotovoltaica:

Tabla 17.-Inversión Total del SFVI.

CANTIDAD	UND	DESCRIPCION DEL COMPONENTE	PRECIO(S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
<b>MODULO SOLAR</b>				
16	UND	PANEL SOLAR JINKO SOLAR JKM-265P-60	S/. 747.70	S/. 11,963.20
30	MTS	ESTRUCTURA DE SOPORTE -TUBO NEGRO	S/. 10.00	S/. 300.00
<b>UNIDAD DE CONTROL Y POTENCIA</b>				
1	UND	INVERSOR INTERCONECTADO FRONIUS SYMO 4.5.0-3-S	S/. 5,062.82	S/. 5,062.82

INSTALACIONES ELECTRICAS Y PUESTA A TIERRA				
PROTECCIONES				
		FUSIBLES ,INTERRUPTORES,DESCARGADORES,ETC	800	S/. 800.00
CABLES				
405	mts	CONDUCTOR AWG-10 X CADA 100 METROS	S/. 225.00	S/. 911.25
225	mts	CONDUCTOR AWG-14 X CADA 100 METROS	S/. 94.00	S/. 211.50
150	mts	TUBO PVC ELECTRICO PAVCO- DIAMETRO 20 MM	S/. 4.50	S/. 225.00
PUESTA A TIERRA				
1	UND	SISTEMA PUESTA A TIERRA	S/. 585.00	S/. 585.00
TOTAL DE EQUIPOS				S/. 20,058.77
LUMINARIAS LED				S/. 7,000.00
TRANSPORTE				S/. 320.00
MANO DE OBRA-18%				S/. 3,610.58
GASTOS GENERALES-5%				S/. 1,002.94
UTILIDAD-10%				S/. 2,005.88
INVERSION TOTAL				S/. 33,998.16

CANTIDAD	UND	DESCRIPCION DEL COMPONENTE	PRECIO(S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
MODULO SOLAR				
16	UND	PANEL SOLAR JINKO SOLAR JKM-265P-60	S/. 747.70	S/. 11,963.20
30	MTS	ESTRUCTURA DE SOPORTE -TUBO NEGRO	S/. 10.00	S/. 300.00
UNIDAD DE CONTROL Y POTENCIA				
1	UND	INVERSOR INTERCONECTADO FRONIUS SYMO 4.5.0-3-S	S/. 5,062.82	S/. 5,062.82
INSTALACIONES ELECTRICAS Y PUESTA A TIERRA				
PROTECCIONES				
		FUSIBLES ,INTERRUPTORES,DESCARGADORES,ETC	800	S/. 800.00
CABLES				
405	mts	CONDUCTOR AWG-10 X CADA 100 METROS	S/. 225.00	S/. 911.25
225	mts	CONDUCTOR AWG-14 X CADA 100 METROS	S/. 94.00	S/. 211.50
150	mts	TUBO PVC ELECTRICO PAVCO- DIAMETRO 20 MM	S/. 4.50	S/. 225.00
PUESTA A TIERRA				
1	UND	SISTEMA PUESTA A TIERRA	S/. 585.00	S/. 585.00
TOTAL DE EQUIPOS				S/. 20,058.77

<b>LUMINARIAS LED</b>	S/. 7,000.00
<b>TRANSPORTE</b>	S/. 320.00
<b>MANO DE OBRA-18%</b>	S/. 3,610.58
<b>GASTOS GENERALES-5%</b>	S/. 1,002.94
<b>UTILIDAD-10%</b>	S/. 2,005.88
<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>S/. 33,998.16</b>

FUENTE: Elaboración propia.

**Préstamo Bancario:** La inversión total (S/.34 000.00) será cubierto con un préstamo bancario. El préstamo se realizará con un banco mediante un crédito comercial a un plazo de 24 meses, la tasa de interés que se elegirá será con la que el proyecto resulte lo suficientemente rentable; los pagos mensuales dependerán de la tasa de interés.

#### 5.5.2.-Flujo de caja proyectado.

El flujo de caja permitirá observar los ingresos y/o egresos netos que tendrá el proyecto durante los años de operación, es decir en un horizonte de 25 años.

#### **Estructura del flujo de caja**

Los componentes del flujo de caja son la inversión inicial, los diferentes ingresos y egresos que se darán durante el tiempo de operación del proyecto.

**Ingresos y egresos proyectados:** Los ingresos que el proyecto recibirá se obtendrán de los fondos generados al dejar de utilizar luminarias fluorescentes en la generación de electricidad; mientras que los egresos a considerar son la cuota anual por el préstamo bancario (se analizará con una tasa de interés

máxima), la depreciación de los equipos según su vida útil y la operación y mantenimiento del sistema.

Tabla 18.-Vida útil de los equipos del SFVI.

VIDA UTIL DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA					
	MODULOS	INVERSOR	CABLES	PUESTA A TIERRA	PROTECCIONES
VIDA UTIL (AÑOS)	25	25	20	20	20
PRECIO	10400	5062.82	-	-	-
DEPRECIACION	416	202.51	-	-	-

FUENTE: Elaboración propia.

La tabla 19 muestra los costos por mantenimiento y operación anual del sistema fotovoltaico conectado a red:

Tabla 19.-Costo por Mantenimiento y Operación anual.

COSTOS POR MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN ANUAL			COSTOS POR MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN ANUAL
GASTO ANUAL DE INSTALACION-S/	MODULOS	INVERSOR	
	35	15	50

FUENTE: Elaboración propia.

A continuación se presenta un resumen de los flujos de cajas considerando una tasa de interés anual de 10.50 %.

Tabla 20.-Resumen de Caja de Flujo



		Año 00	Año 01	Año 02	Año 03	Año 04	Año 05	Año 06	Año 07
	Inversión en el Período T	S/. 34,000.00							
INGRESOS	Fondos Generados		S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85
EGRESOS	Anualidad Préstamo		S/. 18,921.42	S/. 18,921.42					
	Operación y mantenimiento		S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00
	Depreciación de Equipos		S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51
	Panel Solar		S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00
	Inversor		S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51
	Flujo de Efectivo Neto	-34000.00	-11147.08	-11147.08	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34

Año 08	Año 09	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85
S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00
S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51
S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00
S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51
7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34

Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85	S/. 8,442.85
S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00	S/. 50.00
S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 618.51	S/. 15,462.82
S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 416.00	S/. 10,400.00
S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 202.51	S/. 5,062.82
7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	7774.34	-7069.97

### 5.5.3-Rentabilidad del proyecto.

Luego de haber establecido los ingresos y egresos del proyecto, podemos hacer uso de los indicadores que ayudarán a analizar de manera objetiva lo atractivo de la inversión desde el punto de vista monetario. Para ello necesitamos determinar la tasa de descuento y el horizonte de evaluación del proyecto.

#### Tasa de descuento

Esta tasa representa una medida de la rentabilidad mínima que se exigirá al proyecto de acuerdo a su riesgo. Además, al obtenerla podremos utilizarla para conocer el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto.

Los flujos de caja se descontarán a una tasa de descuento igual a la tasa de interés activa vigente en el mercado. Para ello se han considerado las siguientes tasas para un préstamo a cuota fija a más de 360 días.

El Banco Financiero otorga el préstamo a una tasa anual de 10.50%, a 24 meses, préstamo de 34 mil soles.

### **Horizonte del Proyecto**

El proyecto se ha sido evaluado en un horizonte de 25 años, en la cual se determinará si el proyecto es rentable.

#### **5.5.4.-Valor Actual Neto (VAN)**

El valor Actual Neto es la cantidad monetaria que resulta de regresar los flujos netos del futuro hacia el presente con una tasa de descuento. El proyecto se acepta siempre y cuando el VAN sea mayor a cero, caso contrario se rechaza. La tasa de descuento (costo de capital) con la que se ha evaluado la inversión es del 10.3%. Con estas consideraciones obtenemos nuestros VAN donde podemos concluir que el proyecto es económicamente rentable durante los 25 años de operación del proyecto.

Tabla 21: Valor Anual Neto del proyecto.

Tasa de Descuento	VAN	Decisión
10.50%	S/. 97.09	El proyecto es rentable, la inversión debe realizarse.

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 5.5.5.-Tasa Interna de Retorno (TIR).

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es aquella tasa de interés que hace igual a cero el valor de flujos de beneficios netos.

El criterio para aceptar o rechazar el proyecto se fundamenta en que si la TIR es menor que la tasa de descuento se debe rechazar el proyecto, en caso contrario se le acepta.

Tabla 22: Tasa Interna de Retorno del proyecto.

Tasa de Descuento	TIR	Decisión
10,50%	10.52%	El proyecto se debe aceptar

**Fuente:** Elaboración Propia

Al calcular la TIR para nuestro proyecto vemos que es mayor a la tasa de descuento, con lo cual confirmamos la rentabilidad del proyecto.

## 5.6.-DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El “Complejo Policial La Despensa” a través de la información calculada sobre el sistema convencional, se ha calculado que el costo de generación de energía fue de S/. 8,442.85 soles al año.

Por otro lado la carga instalada considerada para que funcione con energía fotovoltaica es de 4240 W, tomando como el punto más alto de consumo. La zona donde se encuentra el Complejo Policial cuenta con muy buena radiación entre 4,7 a 6.1 HPS como promedio mensual; el cual nos proporciona en promedio una energía generada de 19 928 Wh/día para un total de 16 paneles de 265 Wp cada uno con una frecuencia global de funcionamiento del 95%, considerando 08 paneles en serie y 02 ramales en paralelo.

Este sistema fotovoltaico, en el mes con menos radiación solar tiene una producción mínima de 597.840 Kw.h/mes contra el consumo máximo del SFVI de 775,920 KWh/mes lo que hace viable la propuesta técnica.

Por otro lado en el análisis económico y financiero realizado para determinar la rentabilidad del proyecto se tiene un VAN de S/.97.09 soles a una tasa del 10,50% (tasa de interés bancario mínima) en un horizonte de 25 años con una TIR de 10.52%; lo que hace viable económicamente nuestro proyecto.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1.-CONCLUSIONES.

De acuerdo al estudio que se ha seguido en el presente trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- a. Para el proceso de dimensionamiento se ha considerado el mes de Junio por ser el mes más desfavorable, en cuanto a energía solar disponible, asegurándonos en el resto del año el funcionamiento total del sistema fotovoltaico con conexión a red.
- b. Los equipos que forman parte del SFVI, no sólo han sido escogidos con los cálculos realizados para el proyecto, se ha tenido también en cuenta que cumplan con las normativas establecidas para el correcto dimensionamiento:

**-Los módulos fotovoltaicos** cumplen las normativas: IEC 61215 que cubre los parámetros que son responsables del envejecimiento de los mismos como son los rayos UV (ultravioleta), incluida la luz del sol, diferencial ambiental de humedad y temperatura, carga mecánica y los parámetros de la nieve. Cumplen también la normativa IEC 61730 que cubre los parámetros de seguridad del módulo en su construcción, especificando el tipo de uso, pruebas de cualificación y seguridad eléctrica.

**-El inversor** cumple con la normativa IEC 60529 que determina el grado de protección que resguarda los componentes que constituyen el equipo: IP

65; nuestro inversor está totalmente protegido contra el polvo y contra el lanzamiento de agua desde todas direcciones.

- c. Los costos de operación y mantenimiento son muy bajos.
- d. Esta tecnología de conversión de energía tiene la ventaja principal de que puede ser extraída de un modo “renovable”. Se espera que esta alternativa de energía renovable sea conveniente en un futuro de energía sostenible por las siguientes razones:
  - La energía solar fotovoltaica conduce a una diversificación de fuentes de energía, aumentando la utilización de fuentes de energía renovables, y así una mejora en la seguridad energética.
  - Está más extensamente disponible comparada con los combustibles fósiles.
  - No contribuye a la contaminación atmosférica local y por lo tanto, reduce los daños y perjuicios a la salud humana.
  - Puede equilibrar el empleo de combustibles fósiles y ahorrar estos para otras aplicaciones y futuros usos.
  - Puede mejorar el desarrollo de economías locales y crear empleos.
  - No da lugar al efecto invernadero.
- e. Se realizó los cálculos llegando a la conclusión que la metodología aplicada para evaluar la viabilidad técnica y económica para implementar un sistema

fotovoltaico interconectado en el “Complejo Policial La Despensa” es rentable frente a la alternativa de generación eléctrica convencional.

- f. El sistema fotovoltaico (SFVI), después de realizado el análisis nos proporcionó una viabilidad con una producción mínima de energía de 597.84 Kw.h/mes para un consumo máximo de 775.92 Kw.h/mes, y con una TIR promedio del 10.52 %.
- g. Con el Atlas solar del Perú se obtuvo una radiación máxima de 6.1 HPS (septiembre) y una mínima de 4,7 HPS (junio).
- h. Efectuando el análisis económico y financiero se obtuvo un VAN de S/. 97.09 y la TIR de 10.52% a una tasa mínima del 10,50% (BANCO FINANCIERO), esto hace que la inversión sea rentable frente a tasas de intereses bancarios del mercado local y actual.
- i. Los resultados económicos muestran que el sistema es rentable recuperando la inversión inicial a 9.241 años de funcionamiento.

## 6.2.-RECOMENDACIONES.

De acuerdo al estudio que se ha seguido en el presente trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes recomendaciones:

- a) Se debe realizar una limpieza por la acumulación de tierra en la superficie de los paneles en un mínimo dos veces por semana.
- b) Si la demanda eléctrica se incrementa en más del 15% a la considerada en el dimensionamiento, se recomienda ampliar el número de paneles para cubrir totalmente la nueva demanda de energía del “Complejo Policial La Despensa”.
- c) Es recomendable que este tema de investigación se desarrolle a nivel académico por la gran importancia para nuestra carrera y que es una solución a un problema energético.
- d) Considerar la posibilidad de implementar sistemas híbridos (p.e. FV – eólico).
- e) Fomento de capacitación para el uso adecuado de la energía eléctrica del SFVI.
- f) El tablero eléctrico en donde van a ir ubicados los dispositivos, elementos e inversor debe ser hermético y permanecer bien cerrado para evitar daños ocasionados por humedad o roedores.
- g) Para la ubicación del módulo solar se debe tener en cuenta objetos, edificaciones, árboles y demás circunstancias que puedan interferir en la irradiación solar que va a recibir el modulo solar para que esto no pueda afectar en el rendimiento del sistema fotovoltaico.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

- a. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red (IDAE - ESPAÑA) –Julio 2011.
- b. Linda Hassaine (2010) Tesis Doctoral “Implementación de un Control Digital de Potencia Activa y Reactiva para Inversores. Aplicación a Sistemas Fotovoltaicos conectados a Red”. Tesis doctoral. España: Universidad Carlos III de Madrid.
- c. Proyectos de generación eléctrica en el Perú. Universidad ESAN, 2012. Alfredo Mendiola, Carlos Aguirre, Oscar Aguilar, Suzete Castillo, Gerard Giglio, Walter Maldonado
- d. [ANDUJAR 2004] Andújar Márquez, José. Sistema para la generación automática de curvas I-V, P-V y monitorización de módulos fotovoltaicos. Universidad de Huelva. 2004.
- e. Bejarano, N. (2011). Diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la escuela de ingeniería en ecoturismo. E.S.P. Chimborazo, Ecuador.
- f. Garrido, D. (2009). Análisis de un sistema de iluminación, utilizando ampollitas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos. Universidad Austral de Chile, Chile.
- g. Manual de operación y mantenimiento de paneles solares, Programa de desarrollo de infraestructura sociales salud y educación básica en el medio rural países andinos.

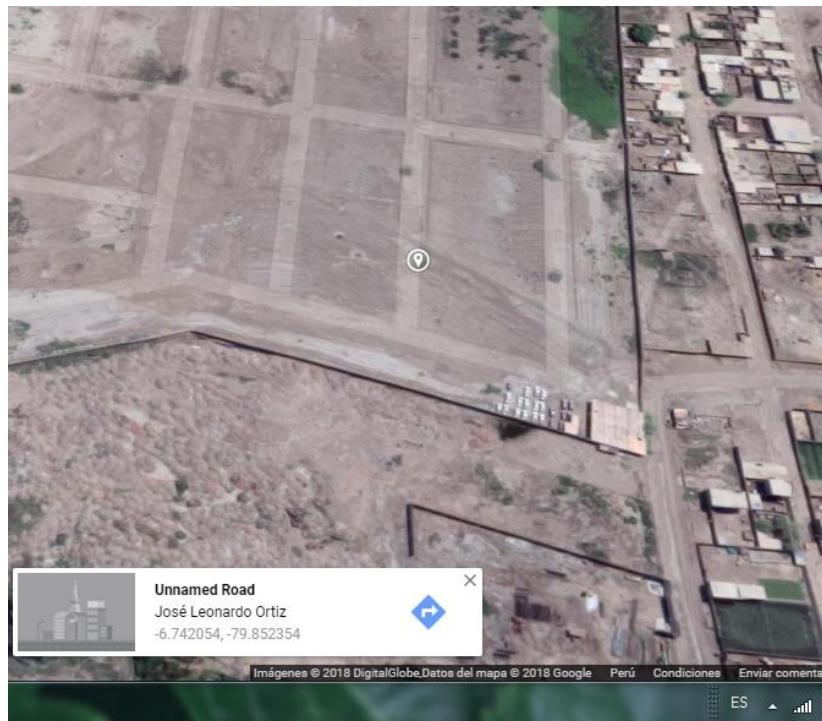
- h. “Atlas de Energía Solar del Perú”, Senamhi, MEM
- i. Reglamento técnico “Especificaciones Técnicas y Ensayos de los componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos hasta 500 Wp”, Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Electricidad, Febrero – 2005.
- j. Reglamento General de Electricidad con Energías Renovables DS N°. 050-2008-EM de 2 de Mayo 2008.
- k. R.D. N° 003-2007-EM/DGE. Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural. (22/02/2007).
- l. Decreto Legislativo N° 1002. Decreto legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.
- m. Cornejo, H. (2013). Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura.
- n. Reglamento Eléctrico de Baja Tensión (REBT) en la norma ITC –BT – 19 y norma ITC-BT-18

## LINKOGRAFÍA.

- a. Delta Volt. Energía Solar Fotovoltaica. <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar>.
- b. Sitio Web oficial de Scribd. <https://es.scribd.com/doc/134113350/La-combustion-de-hidrocarburos-y-su-impacto-ambiental-docx#scribd>.
- c. Superintendencia de Banca y Seguros. <http://www.sbs.gob.pe/>.
- d. <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-red-fronius-symo-45-3-s-45kw>
- e. <https://www.solar-pur.com/products/fronius-symo-4-5-3-s-solar>
- f. <http://www.edu.xunta.gal/centros/cifpcoroso/gl/system/files/REBT-2011.pdf>
- g. <http://www.promelsa.com.pe/pdf/1000464.pdf>
- h. [https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60\(4BB\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60(4BB).pdf)
- i. <https://www.coordenadas-gps.com/>

## ANEXOS

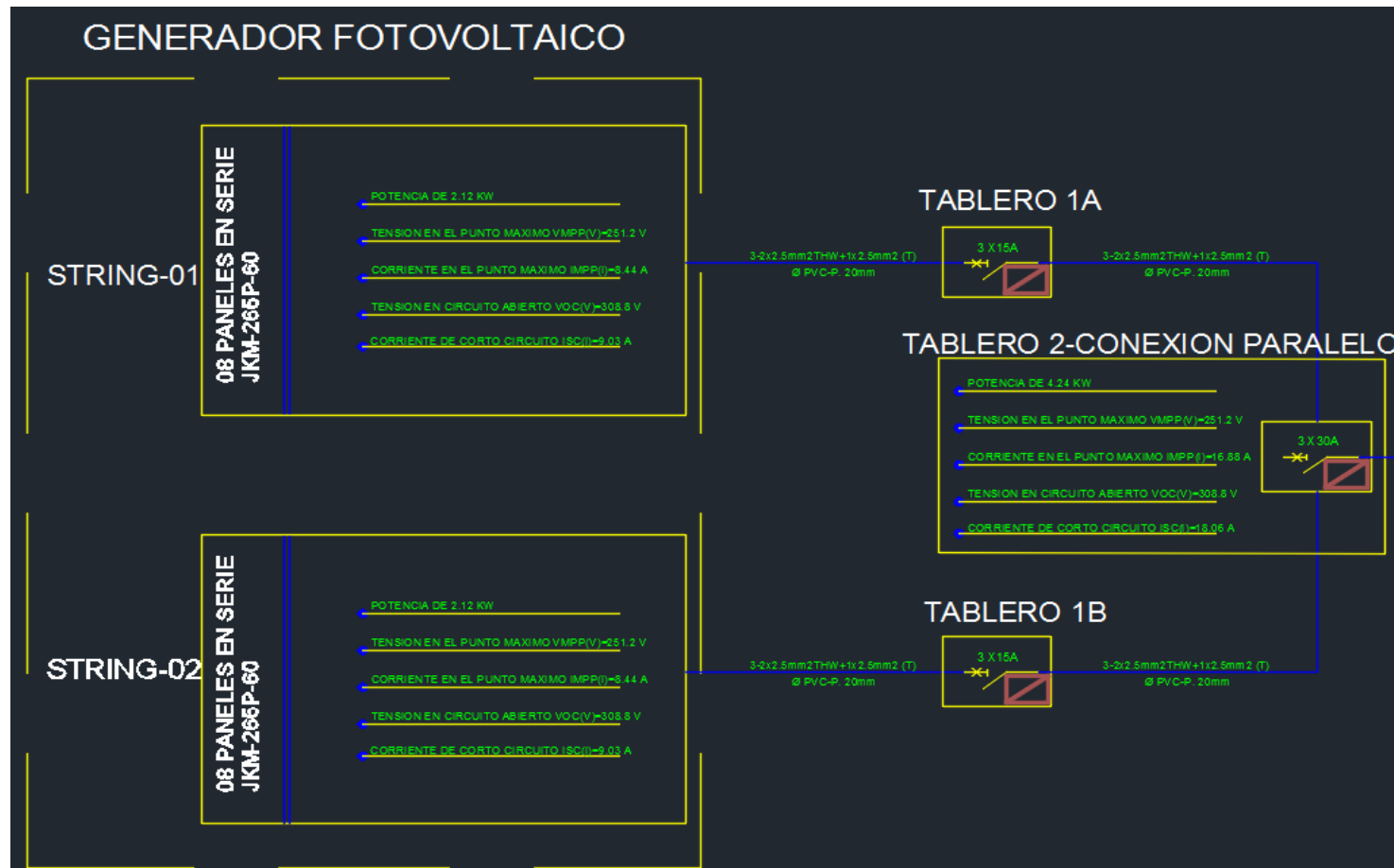
### ANEXO A: Plano de Ubicación.

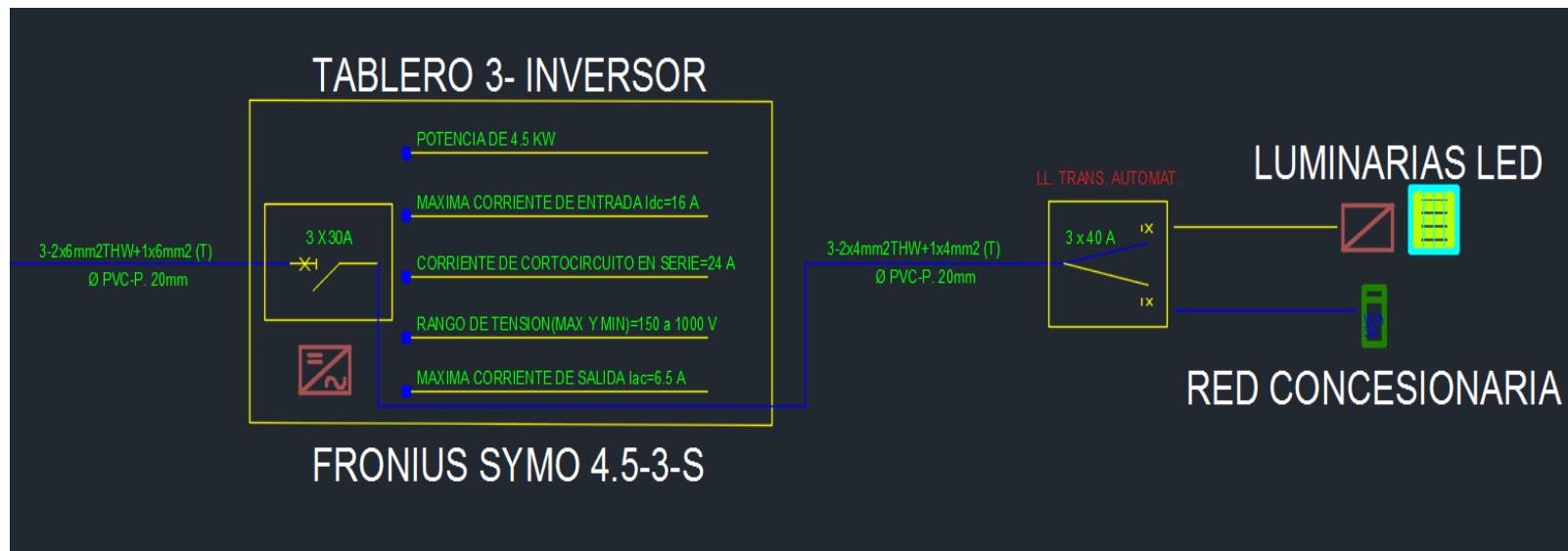


**ANEXO B:** Plano de montaje del sistema fotovoltaico (SFVI).

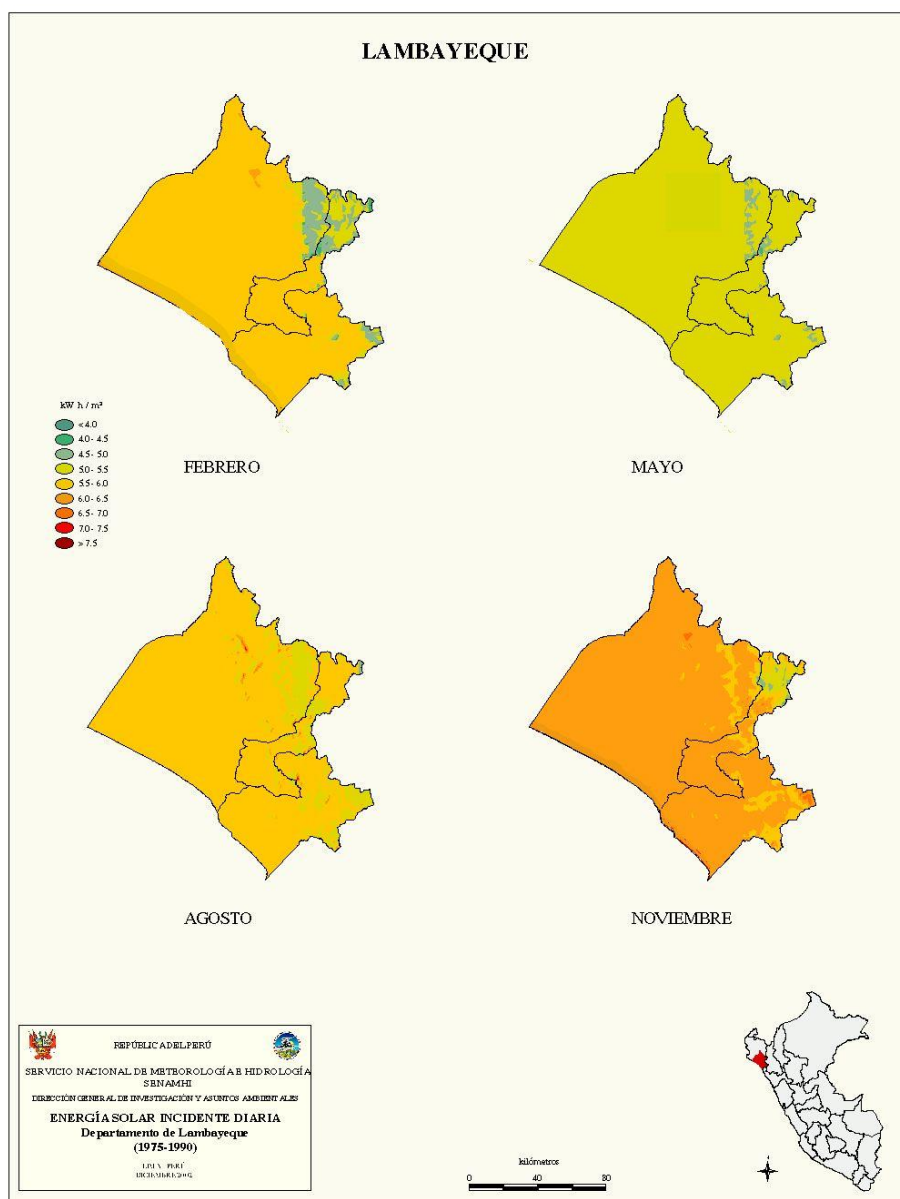


**ANEXO C:** Plano de diagrama unifilar del sistema fotovoltaico (SFVI).





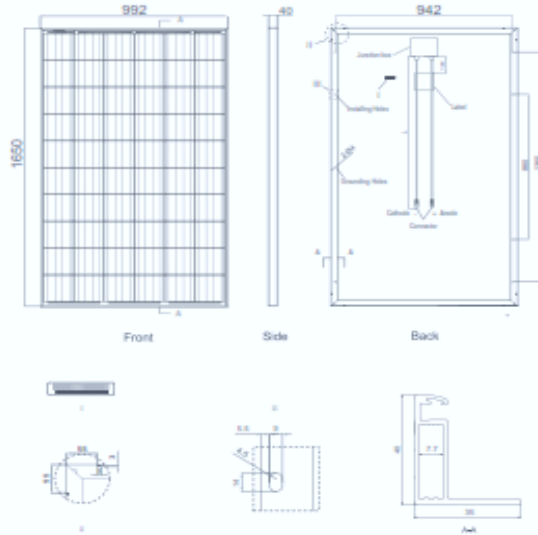
## ANEXO D: Radiación solar, Atlas solar del Perú.





## ANEXO E: Especificaciones técnicas de panel solar.

### Engineering Drawings

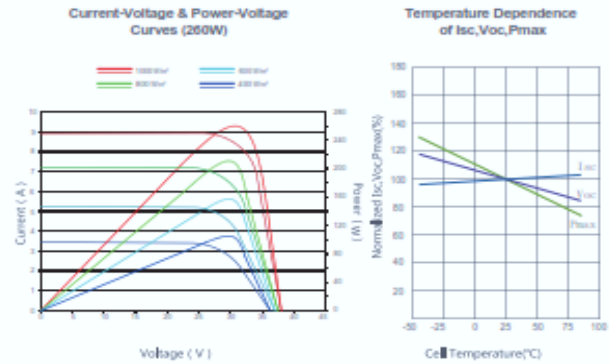


### Packaging Configuration

(Two boxes=One pallet)

25pcs/ box, 50pcs/pallet, 700 pcs/40'HQ Container

### Electrical Performance & Temperature Dependence



### Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No. of cells	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40mm (65.00×39.05×1.57 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lbs)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm <sup>2</sup> , Length: 900mm or Customized Length

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM245P		JKM250P		JKM255P		JKM260P		JKM265P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	245Wp	181Wp	250Wp	184Wp	255Wp	189 Wp	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.1V	27.6V	30.5V	28.0V	30.8V	28.5V	31.1V	28.7V	31.4V	29.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.14A	6.50A	8.20A	6.56A	8.28A	6.63A	8.37A	6.71A	8.44A	6.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	37.5V	34.8V	37.7V	34.9V	38.0V	35.2V	38.1V	35.2V	38.6V	35.3V
Short-circuit Current (Isc)	8.76A	7.16A	8.85A	7.21A	8.92A	7.26A	8.96A	7.31A	9.03A	7.36A
Module Efficiency STC (%)	14.97%		15.27%		15.56%		15.89%		16.19%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.41%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>

Cell Temperature 25°C

AM=1.5

## ANEXO F: Especificaciones técnicas de inversor interconectado.

### DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M)

DATOS DE ENTRADA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Máxima corriente de entrada ( $I_{dc \text{ máx. 1}} / I_{dc \text{ máx. 2}}^{1)}$ )	16 A / 16 A					
Máx. corriente de cortocircuito por serie FV ( $MPP_1/MPP_2^{1)}$ )	24 A / 24 A					
Mínima tensión de entrada ( $U_{dc \text{ mín.}}$ )	150 V					
Tensión CC mínima de puesta en servicio ( $U_{dc \text{ arranque}}$ )	200 V					
Tensión de entrada nominal ( $U_{dc,r}$ )	595 V					
Máxima tensión de entrada ( $U_{dc \text{ máx.}}$ )	1.000 V					
Rango de tensión MPP ( $U_{mpp \text{ mín.}} - U_{mpp \text{ máx.}}$ )	200 - 800 V	250 - 800 V	300 - 800 V	150 - 800 V		
Número de seguidores MPP	1			2		
Número de entradas CC	3			2+2		
Máxima salida del generador FV ( $P_{dc \text{ máx.}}$ )	6,0kW <sub>pico</sub>	7,4kW <sub>pico</sub>	9,0kW <sub>pico</sub>	6,0kW <sub>pico</sub>	7,4kW <sub>pico</sub>	9,0kW <sub>pico</sub>
DATOS DE SALIDA	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Potencia nominal CA ( $P_{ac,r}$ )	3.000 W	3.700 W	4.500 W	3.000 W	3.700 W	4.500 W
Máxima potencia de salida	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA	3.000 VA	3.700 VA	4.500 VA
Máxima corriente de salida ( $I_{ac \text{ máx.}}$ )	4,3 A	5,3 A	6,5 A	4,3 A	5,3 A	6,5 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)					
Coefficiente de distorsión no lineal	< 3 %					
Factor de potencia ( $\cos \varphi_{ac,r}$ )	0,70 - 1 ind. / cap.			0,85 - 1 ind. / cap.		
DATOS GENERALES	SYMO 3.0-3-S	SYMO 3.7-3-S	SYMO 4.5-3-S	SYMO 3.0-3-M	SYMO 3.7-3-M	SYMO 4.5-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	645 x 431 x 204 mm					
Peso	16,0 kg			19,9 kg		
Tipo de protección	IP 65					
Clase de protección	1					
Categoría de sobretensión (CC / CA) <sup>2)</sup>	2 / 3					
Consumo nocturno	< 1 W					
Concepto de inversor	Sin Transformador					
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada					
Instalación	Instalación interior y exterior					
Margen de temperatura ambiente	-25 - +60 °C					
Humedad de aire admisible	0 - 100 %					
Máxima altitud	2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)					
Tecnología de conexión CC	3 x CC+ y 3 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm <sup>2</sup>			4 x CC+ y 4 x CC bornes roscados 2,5 - 16mm <sup>2 3)</sup>		
Tecnología de conexión principal	5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm <sup>2</sup>			5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16mm <sup>2 3)</sup>		
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 8001-4712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100 AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777 <sup>1)</sup> , CEI 0-21 <sup>1)</sup> , NRS 097					

**ANEXO G:** Plano de luminarias.

## ANEXO H: Pliego tarifario máximo del servicio público de electricidad.

	BAJA TENSIÓN	UNIDAD	TARIFA
			Sin IGV
<b>TARIFA BT2:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.52
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	24.92
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	20.14
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	62.52
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	52.84
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	38.68
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.22
<b>TARIFA BT3:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.52
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	24.92
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	20.14
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	47.09
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	42.21
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	52.18
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	49.66
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.22
<b>TARIFA BT4:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.52
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	21.35
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	47.09
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	42.21
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	52.18
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	49.66
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.22
<b>TARIFA BT5A:</b>	<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 2E</b>		
	<b>a) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y HFP</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.52
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	152.83
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	20.14
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S./kW-mes	47.67
	<b>b) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y 50kW en HFP</b>		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	8.52
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	181.08
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	20.14
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S./kW-mes	47.67
<b>TARIFA BT5B:</b>	<b>TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E</b>		
No Residencial	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.27
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	59.39











