

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO  
UAP – FILIAL HUANCAYO”**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER**

**KATERIN GUADALUPE ,CONTRERAS PEREZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**HUANCAYO-PERÚ  
2015**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis se la dedico a las personas que me dieron la Vida que me ayudaron a salir adelante y confiaron en mí, Mis padres Víctor Contreras Sinforoso y Graciela Pérez Gutarra así mismo para mi Hijo Víctor Fabián y mi Hermano Wilder , este es un gran paso más para lograr un futuro mejor.

**La autora**

## **AGRADECIMIENTO**

Los más sinceros agradecimientos al Ingeniero José Manuel, Valer Silva, Director de la Facultad de Ingeniería Ambiental el quien dio el apoyo al proyecto, y me enseñó las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos así como también en la construcción y acabados del paradero.

De igual manera a mi asesor el Ingeniero Henry Raúl, Ochoa León, quien me supo explicar, corregir las observaciones de los problemas encontrados en el desarrollo del proyecto y del planteamiento de la tesis.

A todas las personas que me brindaron su apoyo a lo largo de la construcción e instalación del paradero solar amigos, estudiantes y trabajadores.

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
INDICE DE CONTENIDOS.....	IV
INDICE DE ABREVIATURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE ANEXO.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
INDUCCION.....	XVI
CAPITULO I.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1 Caracterización de la realidad Problemática.....	18
1.2 Formulación del Problema.....	19
1.2.1 Problema General.....	19
1.2.2 Problema Especifico.....	19
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo General.....	20
1.3.2 Objetivo Especifico.....	20
1.4 Justificación.....	20
1.5 Importancia.....	21
1.6 Limitaciones.....	22
CAPITULO II.....	23
FUNDAMENTOS TEORICOS.....	23
2.1 Marco Referencial.....	23
2.1.1 Antecedentes de la Investigación.....	23
2.1.2 Referencias Historias.....	26
2.2 Marco Legal.....	28
2.2.1 Ley.....	28
2.2.2 Resolución.....	28

2.2.3 Norma Técnica.....	28
2.3 Marco Conceptual.....	28
2.4 Marco Teórico.....	33
CAPITULO III.....	70
PLANTEAMIENTO METODOLOGICO.....	70
3.1 Metodología.....	70
3.1.1 Método.....	70
3.1.2 Tipo de la Investigación.....	73
3.2.3 Nivel de Investigación.....	77
3.2 Diseño de la Investigación.....	80
3.3 Hipótesis de la Investigación.....	86
3.3.1 Hipótesis General.....	86
3.2.2 Hipótesis Específicas.....	86
3.4 Variables.....	87
3.4.1 Variable Independiente.....	87
3.4.2 Variable Dependiente.....	87
3.5 Cobertura del Estudio.....	87
3.5.1 Universo.....	87
3.5.2 Población.....	87
3.5.3 Muestra.....	87
3.5.4 Muestreo.....	87
3.6 Técnicas e Instrumentos.....	88
3.6.1 Técnicas de la Investigación.....	88
3.6.2 Instrumentos de la Investigación.....	88
3.7 Procesamiento Estadístico de la Información.....	88
3.7.1 Estadísticos.....	88
3.7.2 Representación.....	88
3.7.2.1 Técnicas de Comprobación de la Hipótesis.....	88

CAPITULO IV.....	89
ORGANIZACIÓN, PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	89
4.1 Resultados.....	89
4.2 Calculo del Área del Panel Fotovoltaico.....	90
4.3 Calculo de la Potencia y de la Eficiencia del Panel.....	92
4.4 Calculo para el Número de Paneles requerido.....	94
4.5 Calculo para la Capacidad de Acumulación.....	96
4.6 Calculo para Número e Reguladores a Utilizar.....	97
4.7 Calculo para Seleccionar el Inversor Adecuado.....	98
4.8 Determinando la Eficiencia de la Energía del Panel.....	99
CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIORAFIA.....	104
ANEXOS.....	107

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- A= Área de la superficie isotérmica, (m<sup>2</sup>)  
A: Área transversal, (m<sup>2</sup>)  
A: Área de superficie de radiación (m<sup>2</sup>)  
A<sub>c</sub>: Área del panel fotovoltaico, (m<sup>2</sup>)  
A<sub>M</sub>: Área del marco de aluminio, (m<sup>2</sup>)  
A<sub>p</sub>: Área de la placa, (m<sup>2</sup>)  
A<sub>pc</sub>: Área de sumatoria de todas las celdas fotovoltaicas, (m<sup>2</sup>)  
a: Ancho de la pared. (m)  
b: Base de la placa, (m)  
c: Capacidad del banco de baterías, (Ah)  
CA: Corriente Alterna, (V)  
CD: Corriente Directa, (V)  
E: Consumo energético real, (Wh)  
E: Energía que absorbe el electrón. (J)  
E<sub>c</sub>: Energía cinética del electrón emitido. (J)  
E<sub>T</sub>: Consumo energético teórico, (Wh)  
ε: Emisividad  
f: Frecuencia de la radiación electromagnética. (Hz)  
F<sub>1-2</sub>: Factor de forma geométrica  
G: Radiación, ( $\frac{W}{m^2}$ )  
H: Coeficiente de película por convección (W/m<sup>2</sup>.°C).  
H: Radiación solar medida en superficie, ( $\frac{W}{m^2}$ )  
H<sub>c</sub>: Altura de la placa, (m)  
H<sub>0</sub>: Radiación solar medida en el tope de la atmosfera, ( $\frac{W}{m^2}$ )  
I: Intensidad de corriente (A)  
I<sub>mp</sub>: Intensidad de corriente de máxima potencia (A)  
K: Conductividad térmica del material (W/m°C)  
L: Espesor de la pared (m)  
L: Longitud de cable, (m)

$L_H$ : Longitud de largo de la celda monocristalina, (m)  
 $n$ : Vector normal de superficie  
 $NP$ : Número de paneles.  
 $N_{PH}$ : Número de celdas monocristalinas verticalmente.  
 $\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzman,  $(\frac{W}{m^2 K^4})$   
 $P$ : Potencia (Watts)  
 $P_i$ : Potencia recibida por el panel, (W)  
 $P_{mp}$ : Potencia máxima, (W)  
 $q$ : flujo de calor (W)  
 $Q$ : Carga eléctrica en Coulomb (C)  
 $R$ : Parámetro de rendimiento global  
 $R$ : Resistencia térmica ( $^{\circ}C / W$ )  
 $R$ : Resistencia eléctrica (Ohmio:  $\Omega$ )  
 $S$ : Superficie transversal del conductor. (m)  
 $^{\circ}S$ : Latitud.  
 $S$ : Horas de sol efectivas, (h)  
 $S_0$ : Duración astronómica del día para una fecha del año específicos, (h)  
 $T$  : Tiempo (s)  
 $T_a$ : Temperatura del ambiente, (K)  
 $T_c$ : Temperatura del panel fotovoltaico, (K)  
 $T_p$ : Temperatura de la placa, (K)  
 $T_w$  : Temperatura de la pared o superficie. ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{\infty}$  : Temperatura del fluido. ( $^{\circ}C$ )  
 $\Delta T$  : Caída de temperatura. (K)  
 $V$ : Tensión o voltaje: Voltio (V)  
 $V_{oc}$ : Voltaje a circuito abierto, (V)  
 $V_{mp}$ : Voltaje de máxima potencia (V)  
 $w$ : Longitud de un lugar. (m)  
 $W$ : Energía mínima necesaria para que un electrón escape del metal. (J)  
 $\delta$ : Sección de cableado, (mm<sup>2</sup>)  
 $\rho$ : Resistividad o resistencia específica ( $\Omega\cdot m$ )

## INDICE DE TABLAS

TABLA: 2.1 - Irradiación solar diaria media (Huancayo) .....	41
TABLA: 2.2 - Eficiencia del panel FV según los tipos de células. ....	48
TABLA: 2.3 - Volumen de gas emitido por baterías PowerSafe.....	56
TABLA: 2.4 - Relación de temperatura con la tensión generada .....	57
TABLA: 2.5 - Tiempos de almacenamiento.....	57
TABLA: 2.6 - Valores normalizados de cables A.W.G .....	69

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA: 2.1-</b> Puesta de sol.....	33
<b>FIGURA: 2.2-</b> Representación Espacial de la distancia entre el sol y la tierra...	34
<b>FIGURA: 2.3-</b> Capacidad Mundial de la generación Fotovoltaica.....	<b>35</b>
<b>FIGURA: 2.4-</b> Energía que llega procedente del Sol.....	36
<b>FIGURA: 2.5-</b> Movimiento de Rotación de la Tierra.....	39
<b>FIGURA: 2.6-</b> Perdidas de Energía Solar en la Atmosfera.....	40
<b>FIGURA: 2.7-</b> Piranómetro.....	42
<b>FIGURA: 2.8-</b> Modulo Fotovoltaico de 5 Watt, para Medir Radiación.....	42
<b>FIGURA: 2.9-</b> Diagrama de Bandas.....	49
<b>FIGURA: 2.10-</b> Esquema del Módulo para Monitorear Radiación Solar.....	45
<b>FIGURA: 2.11</b> Efecto Fotovoltaico en la Célula Solar.....	46
<b>FIGURA: 2.12</b> Conexión de Paneles Fotovoltaicos en Serie.....	50
<b>FIGURA: 2.13</b> Conexión de Paneles Solares en Paralelo.....	50
<b>FIGURA: 2.14</b> Conexión de Paneles en Serie y en Paralelo.....	51
<b>FIGURA: 2.15</b> Angulo de Inclinación y de Incidencia.....	52
<b>FIGURA: 2.16</b> Corriente Eléctrica.....	52
<b>FIGURA: 2.17</b> Módulos Fotovoltaicos de 72 Celdas.....	54
<b>FIGURA: 2.18</b> Acumuladores Solares POWERSAFE.....	55
<b>FIGURA: 2.19</b> Principio del ciclo de reducción de oxígeno.....	55
<b>FIGURA: 2.20</b> Corrección de Voltaje con la Temperatura.....	58
<b>FIGURA: 2.21</b> Tiempo de Recarga vs Función de la corriente de Carga.....	58
<b>FIGURA: 2.22</b> Instalación de Baterías en Serie.....	59
<b>FIGURA: 2.23</b> Instalación de Baterías en Paralelo.....	60
<b>FIGURA: 2.24</b> Instalación de Baterías en Serie – Paralelo.....	61
<b>FIGURA: 2.25</b> Reguladores de Carga.....	62
<b>FIGURA: 2.26</b> Diferentes formas de onda en corriente alterna.....	62
<b>FIGURA: 2.27</b> Power Inverter.....	63
<b>FIGURA: 2.28</b> Inversor de onda Modificada.....	64
<b>FIGURA: 2.29</b> Inversor de Corriente de Onda Senoidal.....	64

<b>FIGURA: 2.30</b> Amperímetro.....	65
<b>FIGURA: 2.31</b> Medición de la corriente que circula en el Circuito.....	66
<b>FIGURA: 2.32</b> Energía que irradia el Sol hacia la Tierra.....	67
<b>FIGURA: 2.33</b> Mecanismos de Transferencia de Calor.....	67
<b>FIGURA: 3.1</b> Área de la plataforma del Paradero.....	71
<b>FIGURA: 3.2</b> Construcción de la Plataforma del Paradero.....	72
<b>FIGURA: 3.3</b> Estructura del Paradero.....	73
<b>FIGURA: 3.4</b> Implementación del Techo y de la Banca del Paradero.....	74
<b>FIGURA: 3.5</b> Implementación del Jardín, Piso y Vidrios del Paradero.....	75
<b>FIGURA: 3.6</b> Instalación de Sistema Fotovoltaico en el Paradero.....	76
<b>FIGURA: 3.7</b> Comparación de la Eficiencia de Conversión.....	81
<b>FIGURA: 3.8</b> Amortización de energía en los Últimos Años.....	82
<b>FIGURA: 3.9</b> Variación de la Potencia en función de la Temperatura.....	83
<b>FIGURA: 3.10</b> Característica Corriente-Voltaje de una Célula de Silicio.....	84
<b>FIGURA: 3.10</b> Curva Característica de Cortocircuito y Voltaje en Vacío.....	85
<b>FIGURA: 4.1</b> Variación del Voltaje en el Panel.....	91
<b>FIGURA: 4.2</b> Variación de la Intensidad de Corriente en el Panel.....	92
<b>FIGURA: 4.3</b> Variación de la potencia en el Panel.....	93
<b>FIGURA: 4.4</b> Voltaje en los Paneles Mensuales.....	94
<b>FIGURA: 4.5</b> Intensidad de Corriente en los Paneles Mensual.....	94
<b>FIGURA: 4.6</b> Potencia en los Paneles Mensual.....	95
<b>FIGURA: 4.7</b> Dimensiones del Panel Fotovoltaico.....	96
<b>FIGURA: 4.8</b> Arreglo Interno del Panel Fotovoltaico.....	98

## INDICE DE ANEXO

ANEXO “1”:	Area de Plataforma para el Paradero.....	112
ANEXO “2”:	Estructura para el Paradero .....	1093
ANEXO “3”:	Instalacion de Equipos del Sistema Fotovoltaico.....	1093
ANEXO “4”:	Paradero iluminado en Horas de la Noche.....	11104
ANEXO “5”:	Toma de Datos y Verifivacion de Equipos.....	11114
ANEXO “6”:	Características técnicas de la Batería .....	11115
ANEXO “7”:	Desempeño del Modulo Respecto a la temperatura .....	1¡Error!
<b>Marcador no definido.6</b>		
ANEXO “8”:	Angulo de inclinación del Panel .....	11126
ANEXO “9”(T):	Tamaño de Logitud de los cables según su Amperaje .....	11137
ANEXO “10”(T):	Datos Tecnicos de los Modulos Solares.....	11148
ANEXO “11”(T):	Potencia Electrica de Artefactos Electricos.....	119
ANEXO “12”(T):	Gastos en Recursos Humanos .....	121
ANEXO “13”(T):	Materiales. ....	121
ANEXO “14”(T):	Presupuesto .....	122
ANEXO “15”(T):	Datos Obtenidos para Analizar.....	122

## RESUMEN

La energía solar se presenta como una alternativa importante ante el aumento del consumo energético del planeta, debido a que, la cantidad de la energía del sol, que llega a la superficie de la tierra en un día, es diez veces más que la energía total consumida en nuestro planeta durante un año.

El estudio de las energías renovables actualmente se presenta como una herramienta de gran utilidad, debido a la escasez de fuentes de energía convencionales que se han venido explotando desde hace ya varios años.

El Distrito de Pilcomayo ubicado en la Región Junín a una altura de 3200 msnm donde se desarrollara la construcción de un paradero suministrado con energía solar ubicado en la intersección de la Avenida Parra del Riego y el Jirón Sebastián Lorente a la altura de la Universidad Alas Peruanas filial Huancayo cuenta con una radiación promedio anual de 4.9 kWh/día siendo la segunda región a nivel nacional con mayor índice de radiación después de Arequipa.

El presente trabajo de investigación fue realizado con el fin de generar energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para suministrar la demanda energética del paradero, conociendo la implicancia de los factores climáticos y geográficos que permitan estimar la generación de energía de los paneles fotovoltaicos, la

estimación de la superficie de captación de energía solar, así como la evaluación experimental del módulo.

Analizando la influencia de los factores climáticos y geográficos en la ciudad de Huancayo, se consideró la irradiación media anual es 4,9 kWh/m<sup>2</sup>, altitud 3249 msnm, latitud 12,0 S, eligiéndose así, un ángulo de inclinación de 25,5° para la instalación del panel solar fotovoltaico.

Para determinar la superficie de captación solar, para la demanda energética del paradero, se determinó el área de 2,22 m<sup>2</sup>, que equivale a los dos paneles fotovoltaicos de 1,45 m x 0,76 m, que generaron una potencia promedio de 280 W con una corriente de 16,9 A y una tensión de 43,6 V. Se realizó un balance de energía donde se halló el modelo matemático, el cual relaciona las temperaturas tanto de la placa como del panel. Mientras que la tensión y la intensidad de corriente a la salida del panel fotovoltaico determinaron el comportamiento eléctrico, también se determinó la eficiencia de la radiación absorbida por el panel el cual es de 15,32%.

El principal problema con la tecnología de paneles fotovoltaicos es que la eficiencia de los sistemas de energía solar sigue siendo pobre, y los costos por kilowatt/hora (KW/h) no son competitivos, en la mayoría de los casos, contra fuentes de energía tradicionales (petróleo, geotermia, gas natural, carbón natural, etc.). Este tipo de generación de energía eléctrica es amigable con el medio ambiente, pues las instalaciones son silenciosas, requieren un mantenimiento mínimo y sencillo, y no producen polución térmica ni emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **ABSTRACT**

**The study of renewable energy currently comes as a very useful tool because of the shortage of conventional energy sources which have been exploited for several years already, without thinking that this would lead humanity to a point where these resources are exhausted.**

**Poor lighting and a space where students and residents of the area can expect its transport unit comfortably and lighting at night makes it a necessity to build a whereabouts to be supplied energy in sunlight through a PV system which does not emit greenhouse gases to transform energy.**

**The Pilcomayo District located in Junín region at an altitude of 3200 meters where the construction of a solar energy supplied whereabouts at the intersection of Avenida Parra del Riego and Jiron Sebastian Lorente at the height of Alas Peruanas University will develop Huancayo subsidiary has an average annual radiation of 4.9 kWh / day being the second region at the national level with the highest radiation after Arequipa.**

**This research was conducted in order to generate electricity using photovoltaic panels to supply energy demand whereabouts, knowing the implication of climatic and geographical factors to estimate power generation photovoltaic panels, estimation area of solar energy, as well as the experimental evaluation of the module.**

Analyzing the influence of climatic and geographical factors in the city of Huancayo, the average annual irradiation is 4.9 kWh / m<sup>2</sup>, 3249 m altitude, latitude 12.0 S, whichever the case, an inclination angle of 25.5 is considered ° for the installation of photovoltaic solar panel.

To determine the area of solar collectors, energy demand for the whereabouts, the area of 2.22 m<sup>2</sup>, equivalent to two solar panels of 1.45 mx 0.76 m, generating an average power of 280 W was determined with a current of 16.9 A and a voltage of 43.6 V. An energy balance where the mathematical model, which relates the temperatures of both the plate and the panel was found it was performed. While the voltage and current at the output of the photovoltaic panel determined the electrical behavior, the efficiency of radiation absorbed by the panel which is of 15.32% was also determined.

PV module panel to generate electricity for the energy supply whereabouts are experimentally evaluated, obtaining an efficiency of 59.5% with conventional current (AC 220V). Finally, the electricity generated is used by the photovoltaic solar array for lighting with 8 spotlights 10W for 11 continuous hours without problems until the completion of the project.

This type of power generation is friendly to the environment, as the facilities are quiet, require minimal and simple maintenance, and do not cause thermal pollution or CO<sub>2</sub> emissions and are able to produce sufficient power to supply demands to 5000W for housing, buildings or places where there is no electricity supply.

## **INTRODUCCIÓN**

Casi toda la energía disponible en el planeta tiene tres fuentes fundamentales: el sol de forma directa o indirecta (combustibles fósiles, biomasa, vientos y rayos solares); el proceso de formación cósmica que procedió a la formación del sistema solar actual (energía nuclear y geotérmica) y finalmente una pequeña parte de la energía disponible proviene de los movimientos lunares.

La energía solar es un tipo de energía renovable y limpia, perteneciente al grupo de energías consideradas “verdes”, las cuales provienen de fuentes respetuosas con el medio ambiente, ya que no inciden sobre el de manera negativa.

Con el objeto de llegar a formular un diagnóstico y presentar soluciones, se evalúa la situación energética del país y ciudad, presentando la información general sobre la capacidad de generación y la necesidad e importancia de la energía utilizada para el abastecimiento, adquiriendo indicadores para conseguir mejores resultados y determinar la viabilidad de la implementación de un sistema de energía fotovoltaica.

Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente. Dos ventajas en las instalaciones de generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico es que son autónomos y pueden estar interconectadas a la

red de suministro eléctrico, de donde se deriva una de sus más importantes aplicaciones en la actualidad.

La principal importancia de la utilización de la radiación solar es que proviene de una fuente de energía inagotable, es un sistema ecológico, silencioso y no contamina el ambiente. Todo esto, sumado a la disminución paulatina de los costos que han tenido tecnologías de los paneles solares y su aumento de eficiencia.

Es indudable el crecimiento acelerado en la actualidad de los sistemas dedicados al aprovechamiento de las distintas fuentes de energía renovable. Debido a la mayor disponibilidad energética de la energía solar en nuestra región nos vemos en la capacidad de emplear este tipo de tecnología para un eficiente aprovechamiento, pues contamos con una radiación media anual de  $4.9 \text{ kWh/m}^2$  que nos ubica en un marco rentable para generar energía eléctrica directamente de la radiación solar mediante sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, este recurso no es explotado adecuadamente debido a tres factores que contribuyen a retardar su difusión: bajos ingresos, falta de crédito y carencia de conocimientos tecnológicos.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Caracterización de la Realidad Problemática**

La contaminación es un problema muy serio y cada vez se va incrementando ya sea por nuestro parque automotor, industrialización, exceso de consumismo de nuestro recursos, aumento poblacional, etc. Es por ello, se está buscando nuevas alternativas para la generación de energía y mantener nuestro medio ambiente en equilibrio para un desarrollo sostenible, es por ello que nace el interés de investigar en aprovechar la radiación solar existente en la zona. De esta manera evaluar la generación de energía eléctrica mediante los paneles solares el cual está constituido, la corriente de corto circuito, el voltaje de circuito abierto, la potencia máxima, las curvas características de corriente Vs. Voltaje.

Para su caracterización se utilizara diversos instrumentos como son: un Radiómetro calibrado de fábrica. Un termómetro analógico o digital para medir la temperatura y un voltímetro. Lo otro también que se puede utilizar la Estación Meteorológica que se encuentra en la azotea del pabellón A y el Remoto que se encuentra en la Dirección de Escuela de la cual esos datos también se pueden tomar de referencia mediante un software a una Computadora donde este conectando en forma permanente, y de esta manera se puede realizar un contraste de datos (radiación, temperatura, humedad, etc.), tomados con instrumentos portátiles y estación fija , para que de esta manera optimizar las respuestas a estos paneles , para obtener una mejor rendimiento energético.

El estudio de las energías renovables actualmente se presenta como una herramienta de gran utilidad, debido a la escasez de fuentes de energía convencionales que se han venido explotando desde hace ya varios años, sin pensar que ello conllevaría a la humanidad a un punto en el cual se agotarían dichos recursos.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1 Problema General**

- ¿Qué factores de eficiencia se podrá establecer en la evaluación de un sistema fotovoltaico en el Campus Universitario de la UAP-Filial Huancayo?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cómo determinar los factores climáticos del Campus universitario UAP – filial Huancayo?
- ¿Cuáles son los parámetros de diseño para determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico para suministrar la demanda energética del paradero ubicado en el campus universitario UAP – filial Huancayo?

- ¿Cuál es el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para suministrar la demanda energética del paradero ubicado en el campus universitario UAP – filial Huancayo?
- ¿Cuál es la eficiencia del sistema fotovoltaico para suministrar la demanda energética del paradero ubicado en el campus universitario UAP – filial Huancayo?

### **1.3. Objetivos**

#### **Objetivo General**

- Evaluar las condiciones de eficiencia de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a un paradero ubicado en el campus universitario UAP – filial Huancayo.

#### **Objetivos Específicos**

- Establecer la demanda de cuánta energía es necesaria para suministrar la demanda energética del paradero ubicado en el campus universitario UAP – filial Huancayo.
- Determinar los factores climáticos que influyen directamente con el sistema fotovoltaico del Campus universitario UAP – filial Huancayo.
- Cuantificar cuál es la eficiencia del sistema fotovoltaico para suministrar la demanda energética del paradero ubicado en el campus universitario UAP – filial Huancayo.

### **1.4. Justificación**

Los sistemas de generación Solar, llamados equipos de alta eficiencia, aprovechan la disponibilidad de los recursos energéticos renovables en especial la energía solar, durante todos los meses del año, produciendo electricidad de manera continua y sin interrupciones. Esto contribuiría a la preservación de los ambientes naturales, minimizando los impactos ambientales significativos.

Hoy en día, para el aprovechamiento con racionalidad de los recursos naturales en nuestro país constituye un gran reto muy prometedor para

salvaguardar nuestros tesoros naturales y aún nuestra propia existencia. Asimismo, la calidad de vida depende también de la medida en como cuidemos nuestra tierra, aguas, aire y en general nuestros recursos naturales.

## **1.5. Importancia**

Por estas razones, el propósito principal de la realización de esta tesis es presentar y dar a conocer una de las alternativas para la solución ideal de estos problemas, que en este caso será la energía solar fotovoltaica, ya que ésta usa como fuentes de energía, el sol, que constituye una alternativa con todas esas propiedades deseables para su explotación en beneficio del hombre: no cuesta, no contamina el medio ambiente, es de fácil manejo y su potencia disponible es alta (1000 Watts/m<sup>2</sup>).

Consecuentemente, la energía eléctrica es el medio o elemento esencial para el desarrollo y confort de las personas que entre otras razones, permite mejorar su desempeño y prolongar sus actividades más allá de las horas de luz natural, de donde surge la necesidad de considerar el análisis y estudio sobre el ahorro de energía eléctrica, haciendo uso de los recursos renovables como es la energía solar.

Con el objeto de llegar a formular un diagnóstico y presentar soluciones, se evalúa la situación energética del país y ciudad, para determinar la viabilidad de la implementación de un sistema de energía fotovoltaica.

La principal importancia de la utilización de la radiación solar es que proviene de una fuente de energía inagotable, es un sistema ecológico, silencioso y no contamina el ambiente.

Es importante la construcción de un paradero ya que brindara iluminación en la zona donde no cuenta con un poste cercano de alumbrado público además brindara un espacio cómodo para los estudiante y para los pobladores de la zona que esperan diariamente su unidad de transporte.

## **1.6. Limitaciones**

El desarrollo del presente plan de tesis para la generación de electricidad. Para el Suministro Eléctrico y su posterior implementación en el paradero Autónomo mediante Energía Solar en el Campus de la UAP- Filial Huancayo en el Distrito de Pilcomayo. Existe poca información en lo que se refiere a los antecedentes y bibliografía especializada en este tipo de tecnologías innovadoras, así como también a las pérdidas de carga de energía que existirá en las diferentes conexiones que tiene el paradero solar.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1. Marco Referencial**

##### **2.1.1. Antecedentes de la Investigación**

**Flores H. R. y Agredano D. J. (1999)** llevaron a cabo la recopilación de datos del estado de baterías automotrices en sistemas fotovoltaicos instalados en zonas rurales de los estados de Hidalgo, Quintana Roo y Campeche. Obtuvieron por medio de inspección física el estado de cada batería. Los problemas o parámetros tomados en cuenta para la clasificación fueron: baja densidad de electrolito, terminales sulfatadas, nivel alto de electrolito, nivel bajo de electrolito, terminales flojas, terminales faltantes, electrolitos hirviendo, tapones inadecuados y mal estado de la caja. Los datos obtenidos, muestran que las baterías automotrices han operado satisfactoriamente en los sistemas fotovoltaicos de iluminación rural y que la mayoría de los problemas observados en las baterías es por falta de un buen mantenimiento.

**Huacuz V. J. (1999)** hizo un trabajo en el cual se describen los principales programas de electrificación rural fotovoltaica en Latinoamérica: *Programa de Abastecimiento Eléctrico a la Población Rural Dispersa en Argentina, Programa Nacional de Electrificación Rural en Bolivia, Programa de Desarrollo Energético de Estados e Municipios en Brasil y Programa Nacional de Solidaridad en México*. El autor se enfoca en estos países, ya que estos destacan y se toman en cuenta por sus grandes alcances y la dimensión de sus objetivos. Los presentes datos cumplen el objetivo de realizar un análisis del proceso actual de modernización para la búsqueda de factores que permitan decir hasta dónde los cambios son favorables dentro de las zonas rurales, y determinar la necesidad o demanda necesaria de electricidad. Evaluando los diferentes programas mencionados se concluyó que existe una preocupación por el futuro de la electrificación rural y que los esfuerzos del gobierno están siendo complementados por agencias independientes del gobierno de cada país.

**Gasquet H. (2000)** escribió un manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. En este manual se describe el funcionamiento e instalación de los equipos de energía solar. El manual contiene nociones básicas y la terminología relacionadas con la radiación solar, el diagrama en bloques de un sistema fotovoltaico para uso doméstico, el análisis de cada bloque en detalle, los pasos de diseño de un sistema FV con cargas de CC, los pasos de diseño de un sistema FV con cargas de CC y AC, guía para la instalación de un sistema FV y una guía para el mantenimiento de un sistema FV.

**Ellis A. y Cota A. (2001)** elaboraron el manual de *Energía Fotovoltaica en la Educación a Distancia*, con el cual se puede aprender a calcular un sistema de energía solar. En el documento mencionado se describe el recurso solar, los dispositivos FV, baterías, controles, inversores, cargas

eléctricas, el dimensionamiento, la estimación de costos, la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos.

**Retana O. A. y Reyna G. F. (2007)** crearon un artículo no tanto del ámbito tecnológico; más bien se enfocan en cambios basados en la interrelación del ser humano con la naturaleza para minimizar los daños al medio ambiente, colocando a la vivienda popular como principal punto a cambiar por los daños que causan a la naturaleza, por sus características de construcción y abastecimiento de las necesidades que estas requieren. Con esto proponen crear un vínculo o relación multidisciplinaria entre profesionistas, sociedad, gobierno e industria privada, para mantener una mejora continua, todo esto desde un punto de vista global, con el fin de lograr un cambio significativo entre la relación del hombre con la naturaleza y alcanzar una evolución mutua. De esta manera exponen que en la sociedad lo que impera es vender el producto con los mayores beneficios, sin consideración del daño, lo cual nos lleva a un auto exterminio, por la destrucción de la naturaleza a expensas de la creación de áreas llenas de inmuebles, que por necesidad de una vivienda la población adquiere.

**Núñez M. F, Sánchez H. V, y Acosta O. R. (2007)** realizaron la caracterización de los ocho módulos fotovoltaicos que se encuentran instalados en la universidad de Quintana Roo, México, con el fin de conocer la carga eléctrica máxima real generada, en las condiciones físicas, creadas por efecto del clima en el cual se encuentran los módulos fotovoltaicos en el lugar. Para dicho fin se creó un sistema electrónico que permite medir cambios de corriente eléctrica y voltaje. Además se describe todo el proceso de caracterización, medición de corriente, voltaje, temperatura en los módulos y la irradiación solar instantánea. Al terminar la caracterización se demostró que el sistema electrónico funcionó para el fin que fue creado, además de que resultó ser sencillo, rápido y fácil de construir.

Operación son menores, se recupera la inversión más rápidamente.

### **2.1.2. Referencias Históricas**

La compañía Western Electric fue la primera en comercializar las celdas solares en 1955.

Mientras tanto científicos de diversas partes del mundo realizaban experimentos en combinaciones como el cobre y óxido cuproso, en Silicio Monocristalino, en Cadmio – Silicio, Germanio Monocristalino. En ese mismo año a la U.S. Signal Corps le fue asignada la tarea de construir fuentes de poder para satélites espaciales. Los estudios de esta compañía comenzaron con celdas de una eficiencia de un 4,5 %, y en tres años lograron que esta eficiencia subiera hasta un 9 %. Fue entonces cuando en 1958 fue lanzado al espacio el primer satélite que utilizaba celdas fotovoltaicas, el Vanguard I. Éste tenía un sistema de poder de 0.1 W, en aproximadamente  $100 \text{ cm}^2$  y estuvo operativo por 8 años. Ese mismo año se lanzaron 3 satélites con esta misma tecnología, el Explorer III, el Vanguard II y el Sputnik-3. Desde este año las celdas solares aumentaron su utilización en naves espaciales, y el aumento de eficiencia seguía subiendo a pasos agigantados. Fue así como en 1960 Hoffman Electronics conseguía fabricar una celda con un 14 % de eficiencia. Aun cuando para la NASA fuese más importante la seguridad que el costo en sus naves espaciales, y por ende utilizaba celdas solares, en la tierra la energía fotovoltaica era 50 veces más cara que cualquier fuente convencional de generación, por lo que fue excluida para el uso terrestre. En la década de los sesenta, la potencia instalada de las celdas solares de las naves espaciales y satélites alcanzaba a 1 KW. En 1973 se produce el embargo de petróleo impuesto por la OPEC, con lo cual se inicia una política de investigación del uso de celdas solares en la Tierra, se destinan fondos por sobre los 300 millones de dólares por año, y se comienza a investigar nuevos materiales para la construcción de las celdas, tales como el silicio policristalino, las celdas

de película delgada, combinaciones CdS/Cu<sub>2</sub> y Silicio amorfo, con el fin de abaratar los costos de éstas. En esta misma década comienza la NASA a instalar sistemas de generación fotovoltaica por todo E.E.U.U. para fines de refrigeración, iluminación de calles, iluminación clínica y aparatos de televisión, bombeo de agua, etc... A principios de los años 80', la compañía ARCO Solar fabricaba más de 1 MW de celdas solares por año. Es el comienzo de la masificación de módulos de 1,4 a 6 KW en torres de departamentos, áreas apartadas del tendido eléctrico, centros comerciales y prototipos de automóviles. La producción mundial de celdas en el año 1982 era de 9,3 MW y en 1983 de 21,3 MW, haciendo que se duplique la producción en sólo un año, y alcanzando ventas de alrededor de US\$250 millones. En 1985 se alcanzaba un 20 % de eficiencia en celdas fotovoltaicas, y existían módulos en todas partes del mundo: E.E.U.U., Australia, España, Kenya, Alemania, Ecuador, Japón por nombrar algunos. En Chile se instalaron los primeros módulos en la década de los setenta, principalmente en lugares rurales con módulos de 50 W y baterías de 150 Ah suministrando energía a artefactos de 12 V. Ya en los noventa ARCO Solar es comprada por Siemens, formando Siemens Solar Industries, una de las firmas de mayor producción de celdas solares a nivel mundial. A principios de esta década se instala en la Antártica un sistema de 0.5 KW con baterías de 2,4 kWh para suministrar energía a equipos de un laboratorio. En 1996 comienzan estudios para la utilización de cobre-indio-diselenio en celdas, y de celdas súper eficientes. A fines del siglo pasado en Grecia se aprueba la instalación de una planta de 5 MW en Creta, de un proyecto de 50 MW de la empresa Enron Solar. Aun cuando este proyecto era magno, ya estaba en funcionamiento en California una planta de 6,5 MW produciendo alrededor de 12 millones de kWh por año, suministrando energía a cerca de 2.500 hogares como promedio. Hoy en día las celdas fotovoltaicas son utilizadas en prácticamente todo el mundo, generan el 2,1 % de la energía necesaria para mover al mundo, una industria que en 25 años pasó de producir casi nada a fabricar 70 - 80 MW anuales y

con un costo por W que bajó desde los US\$50 hasta los 5 US\$/W, con alrededor de 40 MW conectados a la red eléctrica.

## 2.2. Marco Legal

### 2.2.1. Ley.

- ❖ Ley N° 28749, Ley general de electrificación rural Ley N° 1002, Energías renovables para electrificación rural (pequeños y medianos sistemas).
  - Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

### 2.2.2. Resolución.

- ❖ D. S. N° 050-2008-MEM, Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.
- ❖ D. S. N° 011-2009-EM, Modificación del D. S. N° 025-2007-EM, Reglamento de la Ley N° 28749.

### 2.2.3. Norma técnica.

- ❖ Norma Técnica Peruana NTP 399.403-2006, Sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones técnicas y método para la calificación energética de un sistema fotovoltaico.
- ❖ Guía de instalación de sistemas fotovoltaicos domésticos (SFD)
- ❖ Norma Técnica de Edificación EM 080, Instalaciones con energía solar sin costo.

## 2.3. Marco Conceptual

- ❖ **Inversor:** Componente que transforma la energía producida por los módulos fotovoltaicos (corriente continua) en energía idéntica a la que hay en la red eléctrica (corriente alterna).
- ❖ **Panel solar fotovoltaico: Placas compuestas de células solares,** que a su vez lo están de obleas finas de silicio. El silicio es un elemento químico que por sus características naturales se activa cuando recibe radiación solar. Esto es, los electrones del átomo de silicio, la parte que rodea el núcleo, comienzan a moverse y dicho movimiento genera la energía fotovoltaica en forma de electricidad de corriente continua.

- ❖ **Capacidad instalada:** Potencia nominal o de placa de una unidad generadora.
- ❖ **Consumo eléctrico:** Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (KWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.
- ❖ **Radiación difusa:** Radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.
- ❖ **Electricidad,** es un propiedad física que se manifiesta a través de la atracción o del rechazo que ejercen entre si las distintas partes de la materia. El origen de esta propiedad se encuentra en la presencia de componentes de carga negativa (electrones) y otros con carga positiva (protones).
- ❖ **Kilowatt:** Mil watts (1 KW = 1 000 W)
- ❖ **Mega watt:** Un millón de watts (1 MW = 1 000 000 W)
- ❖ **Módulo o módulo solar fotovoltaico: Conjunto** de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.
- ❖ **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 mega watt (MW)
- ❖ **Punto de máxima potencia:** Punto de la curva I-V en donde el producto  $I * V$  (potencia) tiene su valor máximo.
- ❖ **Radiación difusa:** Radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.
- ❖ **Regulador de carga:** También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobre descargas.
- ❖ **Potencia eléctrica: Es el ritmo al que se usa o genera la energía,** medida en vatios (W). La capacidad o potencia de una planta se mide en vatios, pero la energía generada o producida anualmente se mide en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (KWh) entre otros.

- ❖ **Consumo eléctrico:** La energía consumida durante un tiempo determinado y medida en vatios-hora (Wh), o en kilovatios-hora (KWh).
- ❖ **Arreglo solar:** Conjunto de módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente e instalados.
- ❖ **Caja de conexión:** Caja a donde se llevan los cables para realizar las conexiones.
- ❖ **Carga:** Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que ésta ópera.
- ❖ **Celda solar o celda fotovoltaica:** Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.
- ❖ **Celdas de película delgada:** Celdas fabricadas de películas del orden de los micrones de material sensible a la radiación solar.
- ❖ **Conexión en paralelo:** Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.
- ❖ **Conexión en serie:** Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.
- ❖ **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)
- ❖ **Eficiencia de la celda:** Relación entre la potencia que entrega una celda solar (expuesta a pleno sol) a la potencia solar incidente sobre ella.
- ❖ **Instalación eléctrica:** Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

- ❖ **Intensidad eléctrica:** Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)
- ❖ **Radiación difusa:** Radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.
- ❖ **Regulador de carga:** También llamado unidad de control o controlador de carga. Componente que controla el flujo de corriente hacia la batería y de la batería hacia los equipos para proteger la batería de sobrecargas y sobre descargas.
- ❖ **Tensión eléctrica:** Diferencia de potencial eléctrico que tiene que existir entre los bornes de conexión o entre dos partes activas de una instalación, para que la corriente eléctrica circule por dicha instalación. La unidad de medida es el Voltio (V)
- ❖ **Termocuplas:** Dispositivo compuesto de dos alambres metálicos diferentes que sirve para medir temperatura, mediante una corriente eléctrica proporcional a la temperatura leída.
- ❖ **Voltaje de circuito abierto:** Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.
- ❖ **Voltaje de máxima potencia:** Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.
- ❖ **Watt pico:** Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C y 1.5 de masa de aire).

## **2.4. Marco Teórico**

### **2.4.1. Fuente Solar**

El sol es nuestro proveedor natural de calor, y cualquier parte que reciba su influencia directa, como consecuencia de ello el aumenta su temperatura original. El que exista diferencias notables entre la acción solar durante los meses invernales y los veraniegos, se debe básicamente a que los rayos solares, al incidir sobre la superficie terrestre, se apartan más o menos, en su inclinación, de la perpendicularidad ideal. Cuanto más se acerquen a esa perpendicularidad, mayor sería su acción térmica.

El diámetro del sol, de acuerdo con los más recientes cálculos efectuados, es de 1 390 860 Km. O sea unas 109 veces mayor que el diámetro de nuestro planeta. A tal diámetro corresponde un volumen de un trillón cuatrocientos mil millones de kilómetros cuadrados, referidos tan solo a su núcleo principal. En este último se originan, de forma ininterrumpida y como consecuencia de ciertas reacciones nucleares, ocasionadas presuntamente por la fusión de protones en el interior continuos desprendimientos de calor que elevan la temperatura de la superficie solar una parte importa, ya que en las próximamente del cual es emitido al exterior como radiaciones. Los cálculos que se han realizado para conocer el valor de este fenómeno, por medio del análisis espectral sitúan en los 6 260°C la temperatura solar en su superficie, ya que en las proximidades del centro hipotético asignado a su núcleo, se supone que la misma alcanza los diez millones de grados centígrados. (Acosta Alcazar, 2008)

### **2.4.2. Radiación**

La emisión de calor en el sol se produce, pues por efecto del fenómeno físico conocido con el nombre de radiación, que consiste en despedir cualquier tipo de energía en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio en todas direcciones. Así, la Tierra recibe los efectos de ondas térmicas emitidas por la fuente solar, cuando se encuentra en su camino.

Estas ondas electromagnéticas, referidas al sol agente emisor, son los rayos solares, los cuales parten del punto de radiación para ser transmitidos, por un movimiento ondulatorio, a través del éter.

La naturaleza de las ondas electromagnéticas es siempre la misma, pero tienen distintas longitudes de onda. La radiación solar se divide, en el espacio, en una muy amplia gama de longitudes de onda, comprendida mayormente entre las diez milésimas de milímetro y una centésima de milímetro. (Acosta Alcazar, 2008).

**FIGURA: 2.1 -“Puesta de sol”**



Fuente: [www.peru.indymedia.org](http://www.peru.indymedia.org)

### **2.4.3. Rayos solares**

Aproximadamente la mitad de estos rayos son visibles, constituyendo la banda radiante visible, cuyos componentes forman la luz visible o rayos luminosos, perceptibles por el ojo humano.

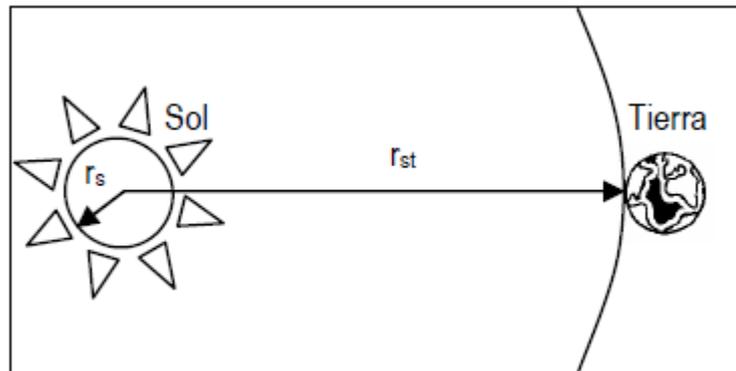
El resto de rayos de los rayos solares es invisible. La mayoría están situados por encima de la banda visible: son los rayos infrarrojos o caloríficos, llamados así por su alto poder calorífico, transmisores del calor. Tienen una longitud de onda relativamente grande y ofrecen fenómenos muy interesantes de difracción.

En cuanto a los rayos por debajo de la banda visible, que son pocos, reciben el nombre de rayos ultravioleta. (Acosta Alcazar, 2008)

Recientemente se ha descubierto la existencia de otros tipos de radiación de frecuencia muy elevada; los más importantes, son los rayos cósmicos, de influencia biológica en los seres vivos.

La relación entre estos grupos queda reflejada de la siguiente manera:

**FIGURA: 2.2 -“Representación Espacial de la distancia entre el sol y la tierra”**



Fuente: (Sánchez, 2013)

1. Rayos ultravioleta (7%)
2. Luz visible (violeta, azul, verde, amarillo, rojo) (47%)
3. Rayos infrarrojos (46%)

#### **2.4.4. Radiación climatológica**

Considerando sus efectos, o sea desde un punto de vista meteorológico, en la radiación solar caben cinco tipos de rayos:

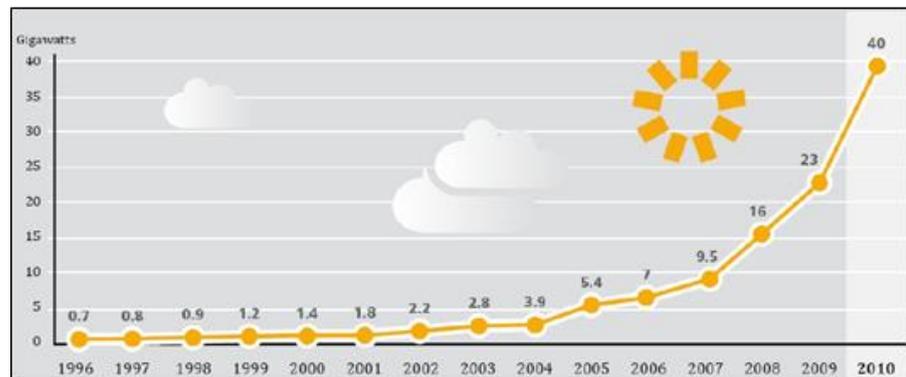
- a) Rayos solares directos**, que son aquellos recibidos en una superficie perpendicular a la dirección de los rayos. La radiación directa es la que habitualmente se denomina brillo del sol, porque ofrece una luz cegadora, reverberante. Estos rayos permiten el más óptimo aprovechamiento para aplicaciones térmicas controladas.
- b) Rayos difusos**, los cuales presentan una radiación débil, aunque también térmicamente aprovechables. La radiación difusa tiene como causa la incidencia de los rayos en partículas de variada especie y origen que flotan en el aire, tales como las moléculas gaseosas, gotas de agua, bióxido de carbono, granos microscópicos de polvo, etc., que producen una dispersión capaz de alterar, por interacción, la radiación original. Este fenómeno es el que produce el característico color azulado del cielo. Y cuando la concentración

es densa, promovida por la formación de nubes, puede llegar a difundir hasta 80% de la radiación recibida.

- c) **Rayos cenitales**, que son asimilables al componente vertical de la radiación difusa, es decir, cuando la superficie receptora sea perpendicular a aquella.
- d) **Rayos reflejados**, con tal denominación se considera la radiación directa o difusa que se refleja, como consecuencia de su incidencia sobre la superficie terrestre.
- e) **Radiación global**, que corresponde a la suma de radiaciones solares directa, difusa y reflejada. Su conocimiento es de suma importancia para efectuar el cálculo de la posible energía aprovechable en cada lugar.

Podemos distinguir los tipos de radiación, donde se muestra los componentes de la radiación solar terrestre global sobre un sistema de captación.

**FIGURA: 2.3** -“Capacidad Mundial existente de la generación Fotovoltaica”



*Fuente:* (Horn, 2011)

#### 2.4.5. La energía solar

Es la energía radiante producida en el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio en paquetes de energía llamados fotones (luz), que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

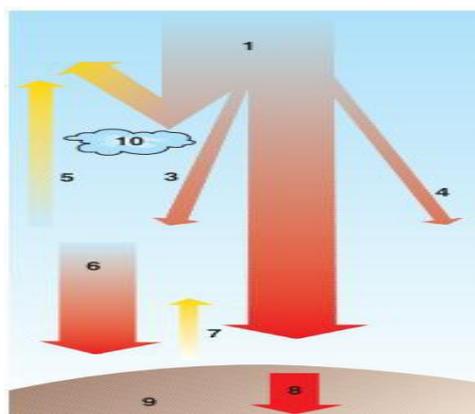
Sin la presencia del sol no existiría vida en la tierra. El planeta sería demasiado frío, no crecerían las plantas ni habría vida alguna, excepto algunas bacterias. Todos nuestros recursos energéticos provienen indirectamente del sol. Los combustibles fósiles son plantas y árboles muy antiguos, que crecieron gracias a la luz solar y han sido comprimidos durante millones de años.

La energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:

- **Dispersión:** Su densidad apenas alcanza 1 kW/m<sup>2</sup>, muy por debajo de otras densidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.
- **Intermitencia:** Hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada.

Uno de los principales factores que repercute en la cantidad de energía recibida es la atmósfera del planeta ya que ella actúa como un filtro al flujo energético incidente, tal como se observa a continuación:

**FIGURA: 2.4** -“Energía que llega procedente del Sol”



**Fuente: Ente Vasco de la Energía**

1. Radiación solar (100%)
2. Reflexión de las nubes (30%)
3. Dispersión difusa (7%)
4. Absorción atmosférica (14%)

5. Dispersión difusa que reflejan los gases
6. Radiación celeste
7. Reflexión de la tierra (4%)
8. Radiación total que llega a la tierra (51%)
9. Superficie terrestre
10. Nubes

Algunos datos de interés:

- Potencia del Sol =  $4 \times 10^{26}$  W
- Energía del Sol que llega a la Tierra =  $5,5 \times 10^{24}$  J/año
- Intensidad de radiación que llega en las capas altas de la atmósfera =  $1,38$  kW/m<sup>2</sup>.
- Intensidad de la radiación que llega a la superficie terrestre =  $900$  W/m<sup>2</sup>

#### **2.4.6. Valoración de la radiación global**

Las condiciones óptimas para valorar la energía solar recibida se dan cuando la superficie que recibe sus efectos se halla perpendicular a la dirección de los rayos, o sea una situación de radiación directa.

En tal supuesto, la energía radiada por el sol y recibida directamente por la capa superior atmosférica de una manera ininterrumpida, puede asimilarse (según A.D.A.E.) a la que producirían 173 millones de centrales nucleares de tipo medio, trabajando conjuntamente. Alrededor de 1 160 000 calorías por metro cuadrado y hora, lo que equivale a unas 2 calorías por minuto y centímetro cuadrado, aproximadamente  $1\ 394$  W / m<sup>2</sup>. Ese valor recibe el nombre de constante solar.

Tal potencia, sin embargo, es recibida con menor intensidad en la superficie terrestre. Hay que tener en cuenta que, para llegar a nosotros, los rayos solares, a una velocidad de  $300\ 000$  Km/seg. Deben introducirse en la órbita terrestre y atravesar unos 150 millones de kilómetros. Durante su camino sufrirán diferentes absorciones y reflexiones que van mermando su intensidad inicial. Así cuando llegan a nuestro planeta, su valor ha disminuido. Un 30% poco más o menos del total radiado, se ha proyectado de nuevo al exterior por reflejo, y solo 70% que resta es absorbido por la tierra. Esta absorción se traduce

en el calentamiento de la parte afectada, en donde se producirá un aumento de temperatura.

No obstante, a pesar de la pérdida de radiación producida al atravesar la atmósfera, esta energía tiene aún tal potencial que la intensidad por unidad de superficie en condiciones normales, que fluctúa entre 1 000 y los 1 200 vatios por metro cuadrado.

El valor exacto de la radiación global en un punto dado depende tanto de la intensidad de esta misma radiación, como de la insolación o soleamiento del lugar. Ambas condiciones se hallan en función, principalmente de las condiciones atmosféricas del punto de la tierra en donde se estudia el fenómeno.

Así, dicho valor variara según sea la zona geográfica en donde se ubique la localidad objeto del problema: la latitud es un factor determinante. También lo son, en mayor o menor grado, la altura sobre el nivel del mar; la estación del año; la hora; y por supuesto la calidad atmosférica, ya que las condiciones imperantes puede afectar a la intensidad de la radiación, lo cual aumentará cuando el aire sea nítido, claro, o estará mediatizada por la presencia de nubosidades. Estas actuaran a manera de filtro o de pantalla solar, que reducirá la radiación a niveles más bajos de efectividad. Y otro tanto puede decirse cuando exista un alto índice de polución. (Acosta Alcazar, 2008)

#### **2.4.7 Luminosidad Solar**

Es la energía emitida por el Sol por unidad de tiempo (Potencia), e integrando sobre toda la superficie solar, se obtiene:

$$L_s = AE_{sol} = \sigma T^4(4\pi r_s^2) = 3,65 \times 10^{23} kW$$

Dónde:

$L_s$ : Luminosidad solar.

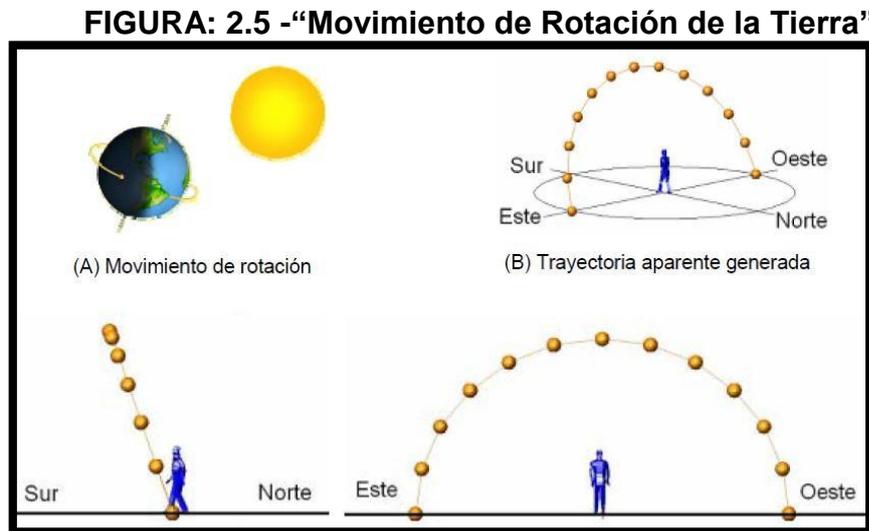
$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann,  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 * k^4$ .

$T$ : Temperatura del cuerpo negro en K.

$r_s$ : Radio del Sol,  $r_s = 0,7 \times 10^6 km$ .

Ahora, un observador en la Tierra, viendo el Sol desde el límite superior de la atmósfera (para poder despreñar los procesos de dispersión y

absorción) de manera normal al plano donde se encuentra, se ubica a una distancia  $d_{T-S} = 1 AU$  del Sol, que es la distancia media Tierra-Sol.



*Fuente:* (Jutglar, 2011)

En virtud de la ley del cuadrado inverso, se tiene que la potencia disminuye con el cuadrado de la distancia de acuerdo a:

$$I = \frac{L_s}{4\pi(d_{T-S})^2} \rightarrow I = 1353 \frac{W}{m^2}$$

Dónde:

$I$ : Energía por unidad de tiempo y de área a una distancia. ( $I = 1353 \frac{W}{m^2}$ , conocido como **Constante Solar**.)

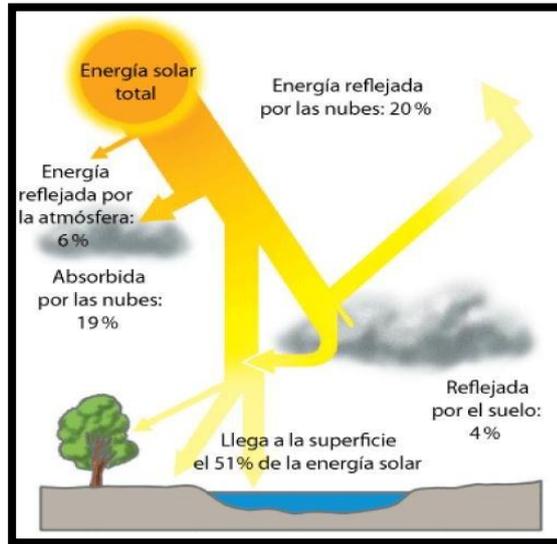
$L_s$ : Luminosidad solar.

$d_{T-S}$ : Distancia entre el Sol y el observador en la Tierra ( $d_{T-S} = 1 AU = 149,6 \times 10^6 km$ )

Se observa que la radiación que emite la Tierra es de una mayor longitud de onda que la del Sol. Por tanto la radiación electromagnética (REM) proveniente del Sol es conocida como Radiación de Onda Corta,

mientras que la REM proveniente de la Tierra es llamada Radiación de Onda Larga.

**FIGURA: 2.6 -“Perdidas de Energía Solar en la Atmosfera”**



Fuente: (Jutglar, 2011)

$$E_F = h\nu \quad (2.1)$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (2.2)$$

Dónde:

$E_F$ : Energía asociada a cada fotón.

$h$ : Constante de Planck ( $h = 6,626 \times 10^{-19} J \cdot s$ ).

$\nu$ : Frecuencia de cada fotón.  $c$ : Velocidad de la luz.

$\lambda$ : Longitud de onda de cada fotón.

De la ecuación (2.2) se deduce que la energía contenida en un fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda.

#### 2.4.8 Irradiancia (G)

Es el valor instantáneo de la energía que llega por cada unidad de tiempo y por cada unidad de área. La Irradiancia se especifica por cada punto de una superficie y, en muchos casos, varía de un punto a otro. Unidades:  $W/m^2$

### 2.4.8.1 Constante Solar

Corresponde a la Irradiancia sobre un plano ubicado en el tope de la atmósfera sobre el cual los rayos solares inciden normalmente. La constante solar es calculada cuando la distancia Tierra-Sol es,  $d_{T-S} = 1 AU = 149,6 \times 10^6 km$ ). El valor de la constante solar viene dada por:

$$I = 1353 \frac{W}{m^2}$$

### 2.4.9 Irradiación (I)

El valor de la energía que llega durante un período de tiempo por cada unidad de área.

Unidades: MJ/m<sup>2</sup> ó kWh/m<sup>2</sup>.

Dónde:

- 1 kWh/m<sup>2</sup> = 3,6 MJ/m<sup>2</sup>
- 1 MJ/m<sup>2</sup> = 0,278 kWh/m<sup>2</sup> (horas pico).

En la Tabla 2:1, podemos observar los valores de irradiación solar promedio en la ciudad de Huancayo, medidos en la Estación Climatológica del Huayao.

**TABLA: 2.1 “Irradiación solar diaria media (Huancayo)”**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
(kWh/m <sup>2</sup> )	5	4,9	4,7	4,7	4,6	4,4	4,5	4,8	4,9	5,3	5,4	5,2	4,9

**Fuente: Estación Climatológica del Huayao.**

Viendo el Sol como un cuerpo negro de acuerdo a la Ley de Stefan Boltzmann, se tiene que éste irradia un flujo energético por unidad de tiempo y de área (potencia por unidad de área) dado por:

$$E = \sigma T^4 = 63,3 MW/m^2$$

Dónde:

E: Flujo energético por unidad de tiempo y de área.

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann;  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 * k^4$ .

$T$ : Temperatura del Sol (cuerpo negro) en K.

#### 2.4.10 Instrumentos para medir la radiación solar

- a) Solarímetro: También llamado Piranómetro. Este instrumento mide la radiación solar total.

**FIGURA: 2.7 -“Piranómetro”**



Fuente: [www.ufpel.tche.br](http://www.ufpel.tche.br).

- b) Heliógrafo. Este instrumental mide la insolación, que son las horas de sol brillante que tiene el día.
- c) Actinómetro. También llamado Pirheliómetro. Es el instrumento capaz de medir la radiación directa.
- d) El medidor fotovoltaico no es nada más que una pequeña célula fotovoltaica que genera electricidad. La cantidad de electricidad es medida para conocer la radiación instantánea. Estos medidores son mucho más económicos que los Piranómetro pero menos exactos.

**FIGURA: 2.8 -“Modulo Fotovoltaico de 5 Watt, para Medir Radiación”**



Fuente: Elaboración Propia

### **Efecto fotoeléctrico**

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un metal cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general). El fotón cede toda su energía al electrón desprendiéndolo o arrancándolo de su órbita.

$$E_c = E - W \quad (2.3)$$

Dónde:

$W$ : Energía mínima necesaria para que un electrón escape del metal.

$E$ : Energía que absorbe el electrón.

$E_c$ : Energía cinética del electrón emitido.

Suponiendo que cada electrón absorbe un cuanto de radiación o fotón, tenemos:

$$E = hf \quad (2.4)$$

Dónde:

$h$ : Constante de Planck.

$f$ : Frecuencia de la radiación electromagnética.

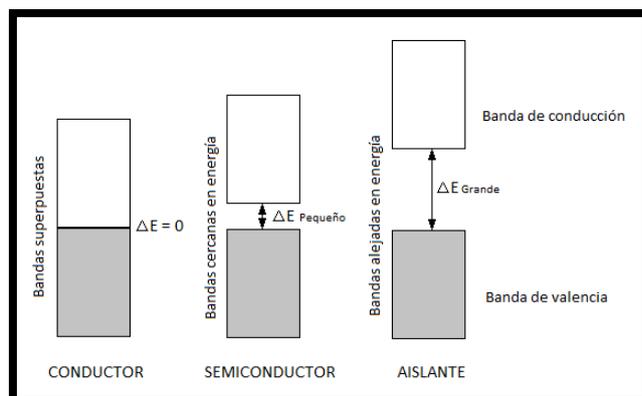
$E$ : Energía de un fotón. Si  $E < W$ , no hay emisión fotoeléctrica

#### **2.4.11 Banda Prohibida o Band gap**

Los semiconductores están compuestos por una banda prohibida que es la banda comprendida entre una banda permitida o de valencia y una de conducción.

Para que un material sea buen conductor del corriente eléctrico debe haber poca o ninguna separación entre la BC y la BV (que pueden a llegar a solaparse), de manera que los electrones puedan saltar entre las bandas. Cuando la separación entre electrones sea mayor, el material se comportará como un aislante. En ocasiones, la separación entre bandas permite el salto entre las mismas de solo algunos electrones. En estos casos, el material se comportará como un semiconductor.

**FIGURA: 2.9 -“Diagrama de Bandas”**



**Fuente: Elaboración propia**

#### **2.4.11.1 Semiconductores Intrínsecos y Extrínsecos**

Los semiconductores extrínsecos son aquellos a los que se les ha dopado de alguna forma, produciendo así un semiconductor tipo P o del tipo N. y los intrínsecos son los que no han sufrido ninguna clase de dopaje.

#### **2.4.12 Efecto Fotovoltaicos**

Es la producción de una corriente eléctrica en un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa. El mecanismo de acción de este fenómeno está basado en la transformación directa de la luz solar en energía eléctrica, en las llamadas células solares o fotovoltaicas, constituidas por un material semiconductor, como, por ejemplo, silicio, pues al incidir luz (fotones) sobre estas células se origina una corriente eléctrica (efecto fotovoltaico).

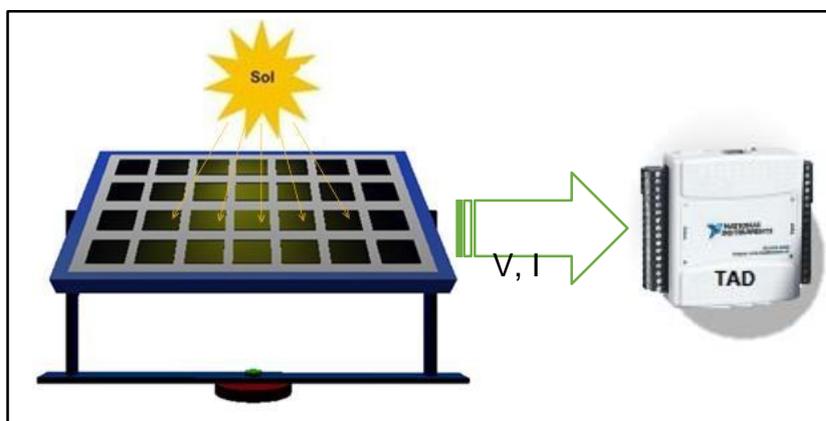
Mediante este proceso, la energía del Sol se recoge en paneles solares y se convierte en electricidad. La luz incide sobre unos materiales semiconductores, denominados células fotovoltaicas, que están recubiertos de una capa antirreflejo y elaborados a base de silicio puro e impurezas de otros elementos químicos (boro y fósforo). La conversión de la energía solar en energía eléctrica está basada casi por completo en el denominado "efecto fotovoltaico".

### 2.4.13 Funcionamiento FV

Cada célula fotovoltaica (dispositivo semiconductor) es capaz de generar una corriente de 2 a 4 A, a un voltaje de 0,46 a 0,58 Volt, utilizando como fuente la radiación luminosa. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota); y la otra parte, debido a la transmisión, atraviesa la célula. Esta energía es recogida y conducida hasta un controlador o regulador de carga, el cual tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hacia el banco de baterías que es el lugar donde es almacenada, y donde se tiene el cuidado de no excederse en los límites de sobrecarga; en algunos diseños, parte de esta energía es enviada directamente a las cargas. La energía almacenada es utilizada para abastecer las cargas durante la noche o en días de baja insolación, o cuando el arreglo fotovoltaico es incapaz de satisfacerla demanda por sí solo. Si las cargas a alimentar son de corriente directa o continua, esto puede hacerse directamente desde el arreglo fotovoltaico o desde la batería; en cambio, si las cargas son de corriente alterna, la energía proveniente del arreglo y de las baterías, limitada por el regulador, es enviada a un inversor de corriente, el cual la convierte a corriente alterna.

Se puede esquematizar este funcionamiento.

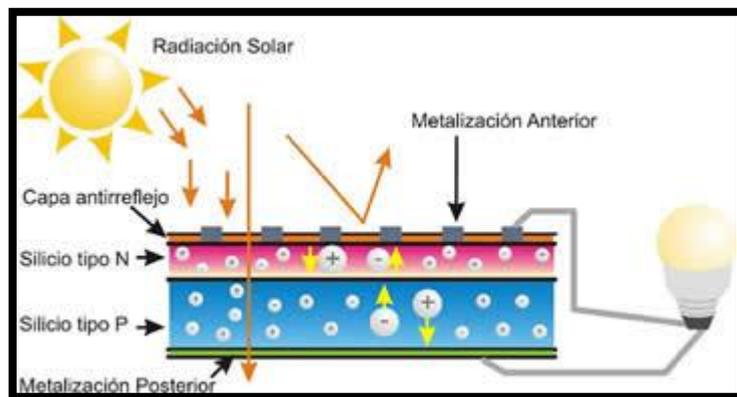
**FIGURA: 2.10 -“Esquema del Módulo Fotovoltaico para Monitorear Radiación Solar”**



## Comportamiento de la célula fotovoltaica

Cada célula fotovoltaica está compuesta por dos láminas de silicio delgadas P y N, separadas por un semiconductor. Los fotones procedentes de la fuente luminosa inciden sobre la superficie de la capa N y, al interactuar con el material, liberan electrones de los átomos de silicio, los cuales, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la capa P. Si se conectan unos conductores eléctricos a ambas capas y estos, a su vez, se unen a un dispositivo o elemento eléctrico consumidor de energía, se iniciará una corriente eléctrica continua, los electrones se mueven siempre en el mismo sentido y de los potenciales más bajos a los más altos. Este conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan.

**FIGURA: 2.11 -“Efecto Fotovoltaico en la Célula Solar”**



**Fuente:** <http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/index.htm>.

## Composición y eficiencia de los Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas de silicio Monocristalino, policristalino o amorfas. La diferencia entre ellas radica en el procedimiento de fabricación. Las células de silicio Monocristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un cristal germen de silicio, que vuelve a crecer con nuevos átomos procedentes del líquido, y quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente, y antes de realizar la serigrafía para las interconexiones superficiales, se recubren con un tratamiento anti reflexivo de bióxido de titanio o zirconio. En las células **policristalinas**, en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas. Las células **amorfas**, como su nombre lo indica, no poseen una estructura cristalina. La eficiencia de un panel es mayor cuanto mayor son los cristales; pero, también, su peso, grosor y costo. La producción de electricidad varía linealmente a la luz que incide sobre el panel; el rendimiento del panel disminuye en proporción a este valor. El rendimiento de un panel fotovoltaico depende de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares.

La siguiente tabla 2:2, muestra la comparación entre los tres distintos tipos de paneles fotovoltaicos.

**TABLA: 2.2- “Eficiencia de cada tipo de panel FV según los tipos de células”.**

TIPO DE CELULA	MATERIAL	RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERISTICAS	FABRICACION
	MONOCRISTALINO	24 %	15-18%	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.	Se obtiene de silicio puro fundido y se dopa con boro y fósforo.
	POLICRISTALINO	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible en células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de láminas delgadas y sobre sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Elaboración Propia

### Dimensionamiento de los sistemas FV

Para establecer las dimensiones de los sistemas FV, es necesario conocer la insolación diaria promedio, preferiblemente para cada mes del año. Una hora solar pico es la energía recibida durante una hora, a una Irradiancia promedio de 1 kW/m<sup>2</sup>. Es decir, **1kW h/m<sup>2</sup> es igual a 1 HSP**. No se debe confundir las HSP con las “horas luz”, que corresponden a la duración del día. Las HSP son relevantes para el diseño de sistemas FV. La insolación diaria promedio varía entre 3 y 7 HSP dependiendo del lugar. La potencia pico de un panel es la potencia de salida, que produce un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar, con una radiación de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup>, que se produce en un día soleado al mediodía solar.

### Orientación de los paneles FV

La intensidad de corriente que genera un panel aumenta con la radiación, y la tensión permanece aproximadamente constante. En este sentido, tiene mucha importancia la colocación de los paneles, su

orientación e inclinación respecto a la horizontal, porque los valores de la radiación varían a lo largo del día en función de la inclinación del sol respecto al horizonte.

La luz del sol que cae sobre la superficie de captación sin dispersarse ni ser absorbida es, por supuesto, radiación directa. Debido a los baños de sol y al trabajo al aire libre, la radiación directa es la más intensa. Un panel solar genera electricidad, incluso, en ausencia de luz solar directa. Sin embargo, las condiciones óptimas de operación implican: la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el Sol, con el fin de aprovechar al máximo la luz solar directa. En el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el Sur y en el Hemisferio Sur, hacia el Norte.

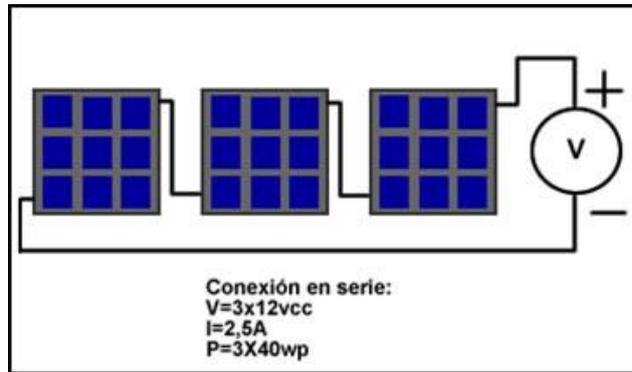
### **Conexión de paneles fotovoltaicos**

Un arreglo de paneles fotovoltaicos, es un conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie o paralelo. Las características eléctricas del arreglo son análogas a la de módulos individuales, con la potencia, corriente y tensión modificados de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo.

#### **1.3.1.1 Conexión en serie**

Una conexión en serie es una configuración en la que los bornes o terminales de los dispositivos los cuales están unidos para un solo circuito se conectan secuencialmente. El terminal de salida del dispositivo uno se conecta al terminal de entrada del dispositivo dos.

**FIGURA: 2.12 -“Conexión de Paneles Fotovoltaicos en Serie”**



Fuente: Elaboración Propia

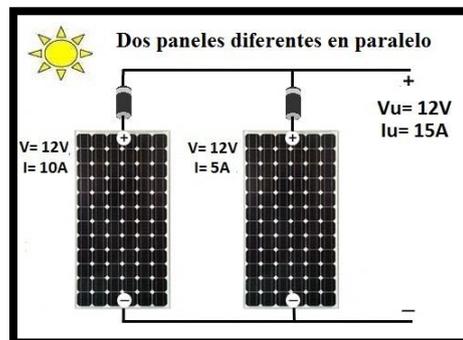
La tensión se incrementa:  $V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

La corriente permanece constante:  $I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$

### 1.3.1.2 Conexión en paralelo

Una conexión en paralelo es una conexión donde los puertos de entrada de todos los dispositivos conectados coincidan entre sí, lo mismo que sus terminales de salida.

**FIGURA: 2.13 -“Conexión de Paneles Solares en Paralelo”**



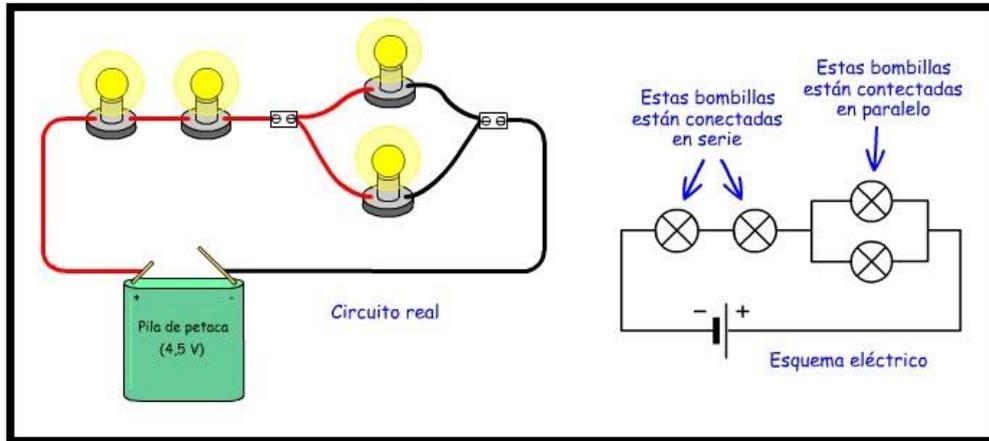
Fuente: Elaboración Propia

La tensión permanece constante:  $V_T = V_1 = V_2 = V_3 = V_4$

La corriente se incrementa:  $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$

### 1.3.1.3 Conexión mixta (serie – Paralelo)

FIGURA: 2.14 -“Conexión de Paneles en Serie y en Paralelo”



Fuente: Elaboración Propia

Se muestra la conexión de paneles en serie y en paralelo.

$$\text{La tensión se incrementa: } V_{T1} = V_1 + V_2$$

$$V_{T2} = V_3 + V_4$$

$$\text{La tensión permanece constante: } V_T = V_{T1} = V_{T2}$$

$$\text{La corriente permanece constante: } I_{T1} = I_1 = I_2$$

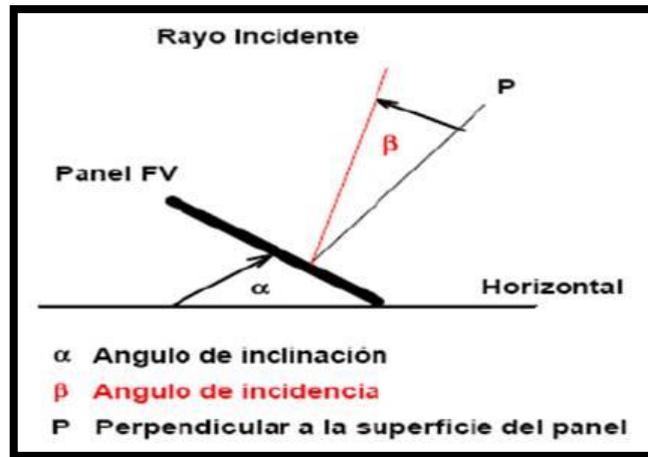
$$I_{T2} = I_3 = I_4$$

$$\text{La corriente se incrementa: } I_T = I_{T1} + I_{T2}$$

### Ángulo de inclinación e incidencia

El ángulo de inclinación ( $\alpha$ ) es el formado entre la superficie colectora y la horizontal del lugar. Para un valor dado del ángulo de inclinación, dependiendo de la posición del sol sobre el horizonte, existirá un valor para el ángulo de incidencia ( $\beta$ ) que forma la perpendicular a la superficie de colección con los rayos incidentes. Es preferible dar al ángulo de inclinación ( $\alpha$ ) un valor igual al de la latitud del lugar más 10 ó 15 grados.

**FIGURA: 2.15 -“Angulo de Inclinación y de Incidencia”**



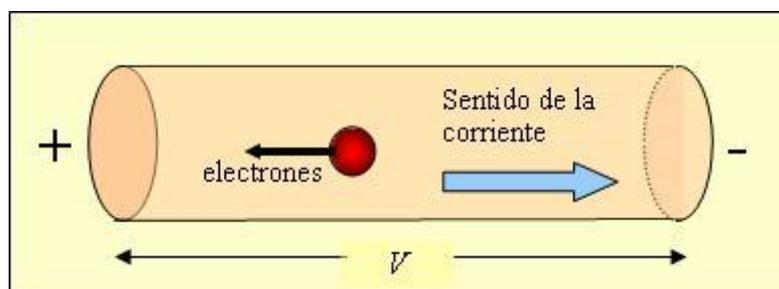
**Fuente: Elaboración propia**

Para determinar el ángulo de inclinación e incidencia del caso en estudio, se necesita conocer la latitud y las horas solares pico, que se describen en la siguiente tabla

### **Corriente Eléctrica**

Se define como el movimiento de carga dentro de un conductor debido a un campo eléctrico aplicado, Suponga que las cargas se mueven perpendiculares a una superficie de área A. La corriente es la tasa a la cual fluye la carga por esta superficie. La corriente promedio, es igual a la carga que pasa por unidad de tiempo

**FIGURA: 2.16 -“Corriente Eléctrica”**



**Fuente: Elaboración propia**

$$I = \lim_{t \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta q}{\Delta t} \right) = \frac{dq}{dt} \Rightarrow I = \frac{q}{t} \quad (2.5)$$

Unidad: Ampere: 1 A= 1 C/s

$I$ : Intensidad de corriente: ampere (A)

$q$ : Carga eléctrica: Coulomb (C)

$t$ : Tiempo: Segundos (s)

### Potencia Eléctrica

La potencia eléctrica ( $P$ ) es la tasa a la que se gasta la energía eléctrica, por unidad de tiempo.

$$P = \frac{v}{t} = \frac{qv}{t} = \frac{nv}{t} \rightarrow P = VI \quad (2.7)$$

Unidad: Watt (W)

Donde

$V$ = Tensión o voltaje: Voltio (V)

$I$ = Intensidad de corriente: Amperio (A)

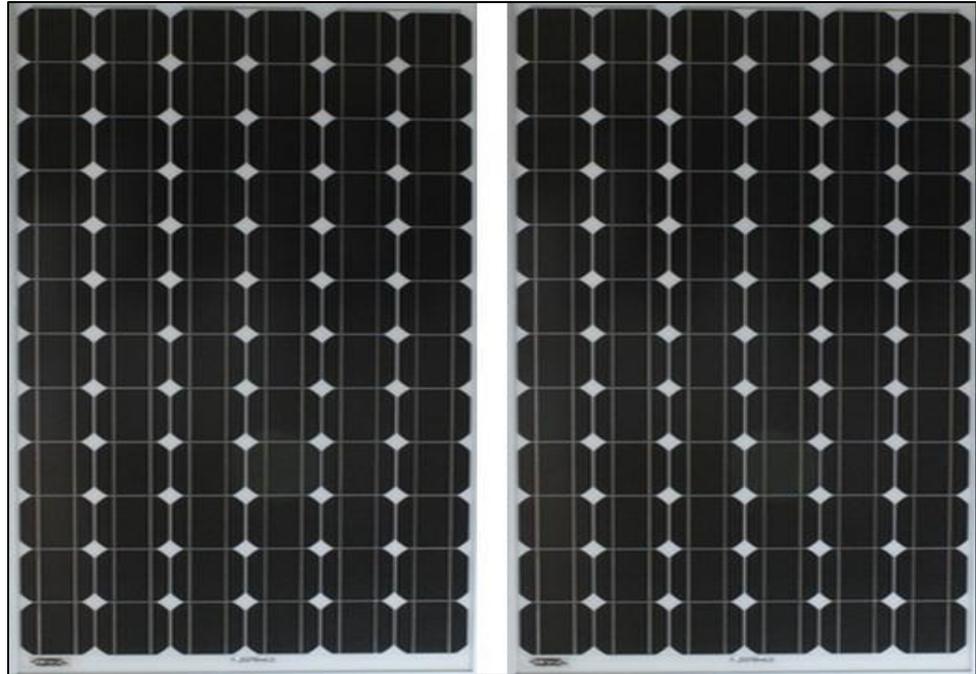
### Elementos de un Sistema FV

Un sistema fotovoltaico consta principalmente de los siguientes elementos:

#### 1.3.1.4 Generador solar

Compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la radiación luminosa procedente del Sol y la transforman en corriente continua a baja tensión. Representa dos generadores solares, compuesto por 72 celdas de silicio Monocristalino, dopados con boro y fosforo.

**FIGURA: 2.17 -“Módulos Fotovoltaicos de 72 Celdas”**



Fuente: Elaboración propia

### **1.3.1.5 Acumulador**

Los acumuladores o baterías tienen una doble función, deben proveer de potencia a la carga cuando no haya luz solar disponible, y amortiguar las variaciones de energía; la función de los paneles solares es recargar diariamente estas baterías o acumuladores. El tipo de acumuladores utilizados en los arreglos fotovoltaicos son los llamados de ciclo profundo, pueden ser como los tradicionales de plomo ácido o las baterías selladas libres de mantenimiento. Los acumuladores de ciclo profundo para los sistemas fotovoltaicos están diseñados para ser descargados lentamente durante muchas horas, sin ser recargados completamente por varios días o semanas, sin que por ello sufran daños o se reduzca su vida útil.

**FIGURA: 2.18 -“Acumuladores Solares POWERSAFE”**



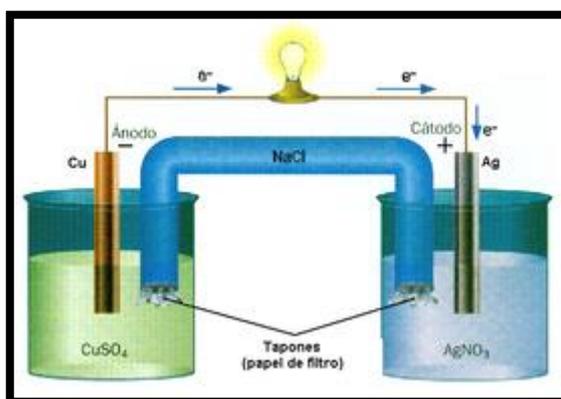
Fuente: Elaboración Propia

Muestra una batería de gel con un electrolito en fibra de vidrio absorbente, que reduce el efecto de contaminación ambiental, y es libre de mantenimiento, teniendo una vida útil de 15 a 20 años; que a comparación con baterías tradicionales de plomo, éstas no emiten gases contaminantes.

#### 1.3.1.5.1 Principio del ciclo de reducción de oxígeno

La siguiente figura muestra la comparación entre un acumulador convencional y un acumulador de gel, con una descripción del principio de reducción de oxígeno.

**FIGURA: 2.19 -“Principio del ciclo de reducción de oxígeno”**



Fuente: Manual de Baterías PowerSafe

En una celda convencional, el oxígeno y el hidrógeno escapan a la atmósfera. En la celda de PowerSafe, el oxígeno se transfiere de la placa positiva a la negativa y recombina para formar agua.

#### **1.3.1.5.2 La recombinación eficiente**

La eficacia de recombinación se determina bajo condiciones específicas, midiendo el volumen de hidrógeno emitido por la batería y convertir esta en su equivalente ampere- hora. Este valor equivalente se resta entonces el total de ampere-horas tomadas por la batería durante el período de prueba, y el resto es la eficiencia de la batería de recombinación y se expresa generalmente como un porcentaje.

Como la recombinación no es 100%, algo de gas hidrógeno se emite a partir de células PowerSafe. El volumen de gas emitido son valores medios muy pequeños y típicos en el flotador potencial constante a 20 ° C y son los mostrados en la siguiente tabla 2:3.

**TABLA: 2.3-“Volumen de gas emitido por baterías PowerSafe”**

<b>EMISIÓN DE HIDRÓGENO DE LA BATERÍA POWERSAFE</b>	
<b>Voltaje emitido (V)</b>	<b>Volumen de gas emitido</b>
2,28	3,7
2,40	24,0

**Fuente: Manual de Baterías PowerSafe**

#### **1.3.1.5.3 Tensión emitida**

A temperatura ambiente normal (20 °C), la tensión de flotación recomendada es igual a 2,28 V por celda. Para optimizar el rendimiento de la batería se recomienda que la tensión de flotación se ajuste para temperaturas ambiente de acuerdo con la siguiente tabla 2:4.

**TABLA: 2.4-“Relación de temperatura con la tensión generada”**

Temperatura (°C)	Emisión de voltaje por celda (V)
0	2,33 – 2,36
10	2,30 – 2,33
20	2,27 – 2,30
25	2,25 – 2,28
30	2,24 – 2,27
35	2,22 – 2,25
40	2,21 – 2,24

**Fuente: Manual de Baterías PowerSafe**

Bajo estas condiciones una recarga se completa en aproximadamente 72 horas. Las altas temperaturas aumentan la tasa de auto-descarga y reduce la vida de almacenamiento.

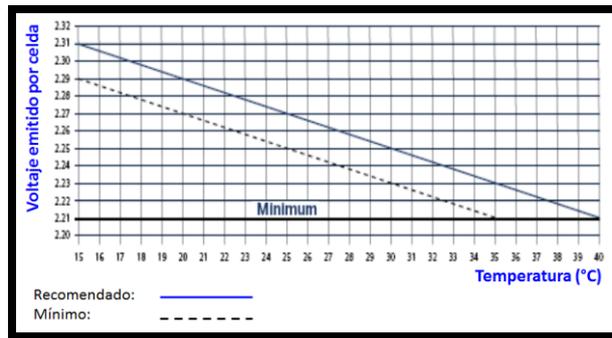
**TABLA: 2.5-“Tiempos de almacenamiento”**

Temperatura (°C)	Almacenamiento	Voltaje de circuito abierto(meses)
10	48	6
15	34	6
20	24	4
25	17	4
30	12	3
35	8.5	2
40	6	2

**Fuente: Manual de Baterías PowerSafe**

La duración de la batería y características de carga se ven afectados por la temperatura. La duración de la batería óptima se logrará cuando la batería está funcionando entre 20 ° C a 25 ° C. La duración de la batería se reduce en un 50 % por cada 10 ° C de aumento de la temperatura. El Flotador de compensación de tensión reduce la corriente de carga cuando aumenta la temperatura de la batería, y parcialmente niega el efecto adverso de alta temperatura. La tensión recomendada de compensación de temperatura, donde se determina el comportamiento de la tensión emitida por celda versus la temperatura:

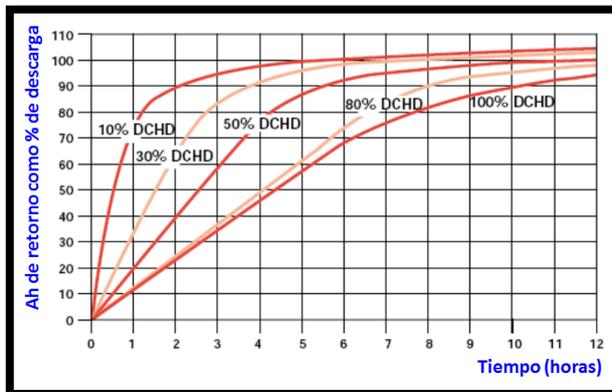
**FIGURA: 2.20 -“Corrección de Voltaje con la Temperatura”**



**Fuente: Manual de Baterías PowerSafe**

El tiempo de recarga es una función de la corriente de carga Para recargar en un tiempo aceptable, se recomienda que la corriente de salida del cargador deba ser igual a la carga permanente más 0,1 C8 a 0,4 C8.

**FIGURA: 2.21 -“Tiempo de Recarga vs Función de la corriente de Carga”**



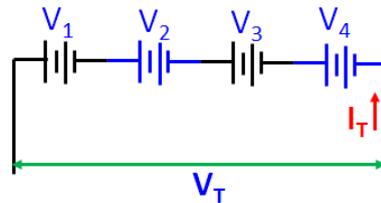
**Fuente: Manual de Baterías PowerSafe**

#### 1.3.1.5.4 Conexiones de las baterías

Disponemos de tres formas de conectar un grupo de baterías entre sí. Dependiendo como se instala, podemos incrementar la tensión total, la capacidad o ambos.

##### a) Conexión en serie.

Para elevar la tensión, las fuentes se conectan en serie, como se expresa esquemáticamente.

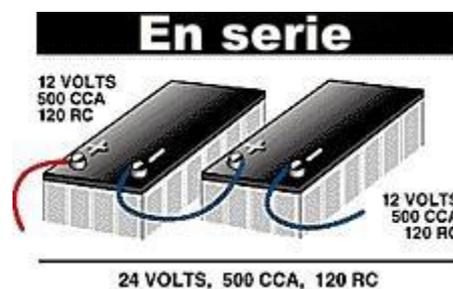


La tensión se incrementa:  $V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

La corriente se mantiene constante:  $I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$ .

Se observa cómo se realiza una instalación de baterías en serie.

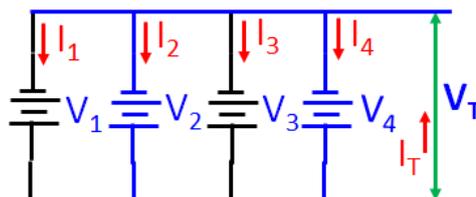
**FIGURA: 2.22 -"Instalación de Baterías en Serie"**



Fuente: Elaboración Propia

##### b) Conexión en paralelo.

Para elevar la corriente, las fuentes se conectan en paralelo, tal como se muestra en el siguiente esquema:

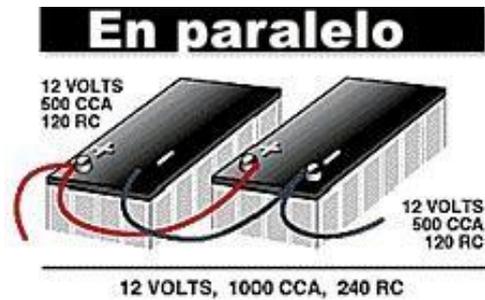


La tensión se mantiene constante:  $V_T = V_1 = V_2 = V_3 = V_4$

La corriente se incrementa  $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$ .

La forma de instalar las baterías en paralelo se muestra en la

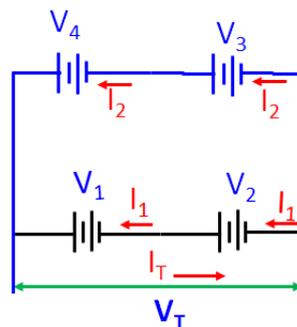
**FIGURA: 2.23 -“Instalación de Baterías en Paralelo”**



Fuente: Elaboración Propia

**c) Conexión mixto (serie - paralelo.)**

Este tipo de instalación es una combinación de las dos conexiones anteriormente mencionadas, y se realiza tal como se muestra en el siguiente esquema.



La tensión se incrementa y luego se mantiene constante:

$$V_{T1} = V_1 + V_2$$

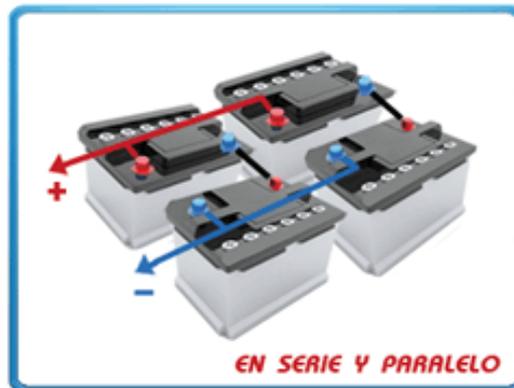
$$V_{T2} = V_3 + V_4$$

Luego:  $V_T = V_{T1} = V_{T2}$

La corriente se mantiene constante y luego se incrementa  $I_T = I_1 + I_2$

La forma de instalar las baterías mediante una conexión mixta

**FIGURA: 2.24 -“Instalación de Baterías en Serie - Paralelo”**



Fuente: Elaboración Propia

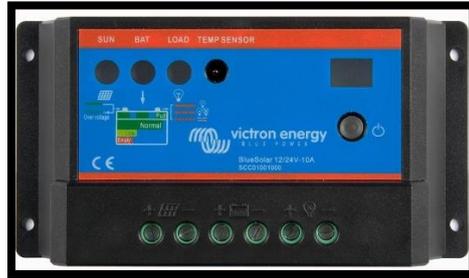
### **Regulador de Carga**

Su misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles, y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia. Una sobrecarga además de reducir la vida útil de la batería, genera el riesgo de explosión o incendio de la batería. Para proteger a las baterías, el regulador cierra en forma automática el flujo de corriente eléctrica desde y hacia las baterías, o bien emitiendo una señal visible o sonora.

El conjunto de paneles puede ser desconectado por completo o en forma parcial de las baterías sin perjudicar al sistema. Conforme las baterías van alcanzando su nivel de carga máxima, el regulador desconecta gradualmente el flujo de corriente desde los paneles hacia las baterías.

El subsistema de regulación está constituido por un regulador, que instalado entre los paneles solares y la batería, tiene como misión fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del panel solar una vez que ha alcanzado su carga máxima. En la Figura se puede observar el tipo de regulador instalado en el sistema de estudio.

**FIGURA: 2.25 -“Reguladores de Carga”**

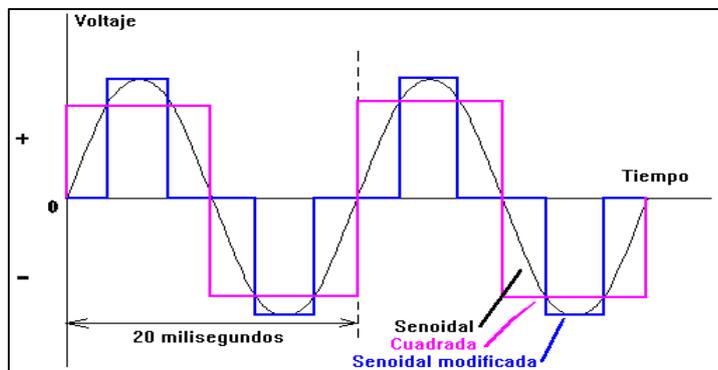


Fuente: Elaboración Propia

### Inversor

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. En la Figura se muestran las tres formas de onda que puede entregar un inversor.

**FIGURA: 2.26 -“Diferentes formas de onda en corriente alterna”**



**Fuente: Sistemas fotovoltaicos**

La conversión de corriente continua en alterna puede realizarse de diversas formas. La mejor manera depende de cuánto ha de parecerse a la onda sinusoidal ideal para realizar un funcionamiento adecuado de la carga de corriente alterna:

### 1.3.1.6 INVERSORES DE ONDA CUADRADA

La mayoría de los inversores funcionan haciendo pasar la corriente continua a través de un transformador, primero en una dirección y luego en otra. El dispositivo de conmutación que cambia la dirección de la corriente debe actuar con rapidez. A medida que la corriente pasa a través de la cara primaria del transformador, la polaridad cambia. Como consecuencia, la corriente que sale de la cara secundaria del transformador va alternándose en una frecuencia de ciclos completos por segundo. La dirección del flujo de corriente mediante la cara primaria del transformador se cambia muy bruscamente, de manera que la forma de onda de la cara secundaria es “cuadrada”, el dispositivo de conmutación está representado en la Figura.

**FIGURA: 2.27 -“Power Inverter”**



Fuente: Elaboración Propia

### 1.3.1.7 INVERSORES DE ONDA SENOIDAL MODIFICADA

Son más sofisticados y caros. El ancho de la onda es modificada para acercarla lo más posible a una onda senoidal. La salida no es todavía una auténtica onda senoidal, pero está bastante próxima. El contenido de armónicos es menor que en la onda cuadrada. En la Figura 35 se representa en color azul. Son los que mejor relación calidad/precio ofrecen para la conexión de iluminación, televisión o variadores de frecuencia.

**FIGURA: 2.28 -“Inversor de onda Modificada”**



Fuente: Elaboración Propia

### **1.3.1.8 INVERSORES DE ONDA SENOIDAL**

Con una electrónica más elaborada se puede conseguir una onda senoidal pura. Hasta hace poco tiempo estos inversores eran grandes y caros, además de ser poco eficientes (a veces sólo un 40% de eficiencia). Últimamente se han desarrollado nuevos inversores senoidales con una eficiencia del 90% o más, dependiendo de la potencia. La incorporación de microprocesadores de última generación permite aumentar las prestaciones de los inversores con servicios de valor añadido como telecontrol, contaje de energía consumida, selección de batería. Sin embargo su coste es mayor que el de los inversores menos sofisticados. Puesto que sólo los motores de inducción y los más sofisticados aparatos o cargas requieren una forma de onda senoidal pura, normalmente es preferible utilizar inversores menos caros y más eficientes. Dentro de poco tiempo el coste de los inversores senoidales se acercará al de los otros, popularizándose su instalación

**FIGURA: 2.29 -“Inversor de Corriente de Onda Senoidal (4000W)”**



Fuente: Elaboración Propia

## **Instrumentos de Medición Para el Sistema Fotovoltaico.**

### **1.3.1.9 Multitester**

Llamado también multímetro; es un instrumento eléctrico portátil para medir directamente magnitudes eléctricas activas (como corrientes y tensiones) o pasivas (como resistencias, capacidades y otras). Las medidas pueden realizarse para corriente continua o corriente alterna y en varios márgenes de medida; según los modelos de fabricación. Los hay analógicos y digitales cuya función es la misma (con alguna variante añadida).

### **1.3.1.10 Conexión de un voltímetro**

Para medir la tensión en un circuito eléctrico; el voltímetro se conecta en forma paralela a la carga a medir.

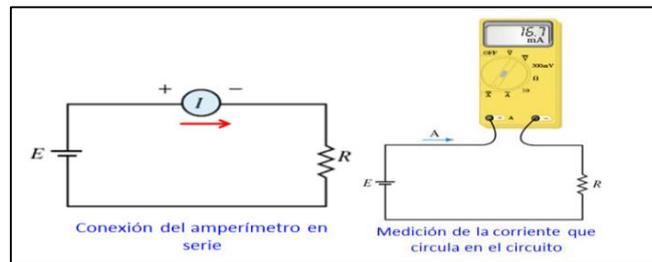
### **1.3.1.11 Conexión de un amperímetro**

Para medir la corriente en un circuito eléctrico; el amperímetro se conecta en serie, tal como se representa.

**FIGURA: 2.30-“Amperímetro”**



**FIGURA: 2.31 -“Medición de la corriente que circula en el Circuito”**



Fuente: Elaboración Propia

### Transmisión de Energía

La transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que pueda ocurrir entre cuerpos; como resultado de una diferencia de energía. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor.

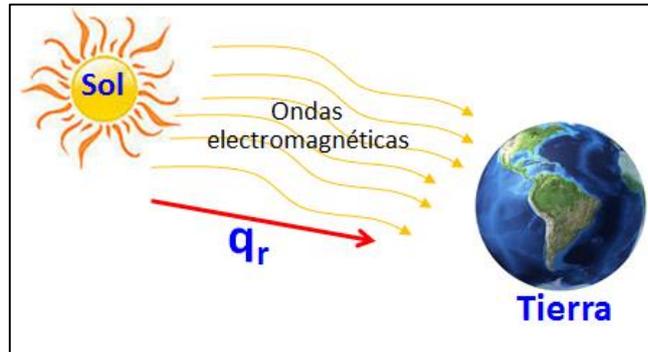
#### 1.3.1.12 Mecanismo de transmisión de calor

Se puede distinguir tres mecanismos de transmisión de calor.

1. Mecanismo de transmisión de calor por conducción.
2. Mecanismo de transmisión de calor por convección.
  - 2.1 Convección Forzada.
  - 2.2 Convección natural.
3. Mecanismo de transmisión de calor por radiación:

La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él.

**FIGURA: 2.32 -“Energía que irradia el Sol hacia la Tierra”**



Fuente: Elaboración Propia

Se presenta de manera esquemática los mecanismos de transferencia de calor.

**FIGURA: 2.33 -“Mecanismos de Transferencia de Calor”**



Fuente: Elaboración Propia

### **Eficiencia en la Conversión de Energía**

La eficiencia de un panel fotovoltaico, corresponde al porcentaje de energía eléctrica generada en relación a la cantidad de energía luminosa recibida desde el sol, cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico.

$$n = \frac{P_{mp}}{E \times A_c} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_i} \quad (2.39)$$

Dónde:

$n$ : Eficiencia de la conversión de la energía.

$P_{mp}$ : Punto de potencia máxima (W)

$E$ : Nivel de radiación solar en la superficie del panel (W/m<sup>2</sup>)

$A_c$ : Superficie del panel fotovoltaico (m<sup>2</sup>)

$P_i$ : Potencia recibida por el panel (W)

### Sección de Cableado

La sección de cable viene en general determinada por la caída de tensión y máxima intensidad. Para el cálculo de la sección de cableado se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{0,036 \times L_c(m) \times I(A)}{(V_a - V_b)} \quad (2.40)$$

Dónde:

$\delta$ : Sección de cableado (mm<sup>2</sup>)

$L$ : Longitud de cable (m)

$I$ : Intensidad de corriente que pasa por el cable (A)

$V_a$ : Tensión de entrada (V)

$V_b$ : Tensión de salida (V)

La ecuación (2.40) se refiere exclusivamente a cables de cobre, ya que se ha tenido en cuenta la resistividad de dicho material para llegar a obtener esta fórmula.

La sección dependerá del tipo de conductor, longitud y corriente que ha de soportar. También tendrá que ver la tolerancia que se considere a la hora de aceptar una determinada caída de tensión entre sus extremos. Se darán los datos considerados por cada tramo de cableado

#### 1.3.1.13 Cables de conexión

Conductores en buen estado deben presentar una resistencia muy baja. Los valores dependen del largo y del grosor de los hilos. Para hilos comunes hasta 20 m. de largo la resistencia debe ser siempre

inferior a 10. Para hilos esmaltados la resistencia varia bastante en función del espesor. En la Tabla 2:6 de se da información de Valores normalizados de cables A.W.G. (American Wire Gauge Standard).

**TABLA: 2.6 –“Valores normalizados de cables A.W.G”**

<b>CAPACIDAD (A)</b>	<b>NUMERO DE CABLES (AWG)</b>
25	14
30	12
40	10
55	8
75	6
95	4
130	2
150	1
170	1/0
265	2/0
360	4/0

**Fuente: American Wire Gauge Standard**

## **CAPITULO III**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Metodología**

##### **3.1.1. Método**

**Pasos para la construcción del paradero:**

##### **a) PRIMER PASO:**

**Recopilación de información referente al Proyecto**

- ❖ En esta etapa del proyecto. Se realizó una delimitación del área relacionada con el objeto de la investigación así como también se recopilaron materiales con información científico-técnica relativa al tema (artículos científicos y técnicos, manuales y catálogos de los componentes disponibles en el mercado).

##### **b) SEGUNDO PASO:**

**Se determinó el área y dimensiones del proyecto**

- ❖ Este procedimiento consiste en realizar el plano de construcción y la estimación de los materiales a utilizarse en el proyecto desarrollado en la UAP filial Huancayo.

**FIGURA: 3.1-“Área de la plataforma del Paradero”**



Fuente: Elaboración Propia

### **c) TERCER PASO**

#### **Construcción de la plataforma del paradero**

- ❖ En la construcción de la plataforma del paradero se utilizaron 25 unidades de fierro corrugado de 6m de largo, 18 bolsas de cemento y 4 cubos de arena, y se contrataron los servicios de un albañil y dos ayudantes también se contrataron un trompo para la mezcla.

**FIGURA: 3.2-“Construcción de la Plataforma del Paradero”**



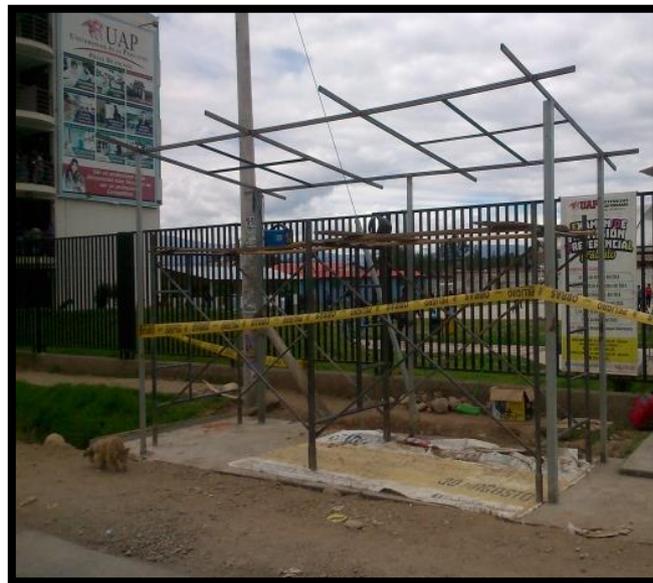
Fuente: Elaboración Propia

#### **d) CUARTO PASO**

##### **Construcción de la estructura del paradero**

- ❖ Se utilizó 5 fierros galvanizados para las columnas del paradero de 0,7mm de espesor también se utilizaron 8 tubos cuadrado y rectángulo para el armado del techo y de la banca, también se contrató los servicios de un soldador y un ayudante para la construcción de la estructura del paradero.

**FIGURA: 3.3-“Estructura del Paradero”**



Fuente: Elaboración Propia

#### **e) QUINTO PASO**

##### **Implementación del techo y la banca del paradero**

- ❖ El techo del paradero se implementó con policarbonato de color verde y azul para lo cual se contrató un personal el cual también implementó la banca con un tablón de tipo tornillo por la resistencia del material.

**FIGURA: 3.4-“Implementacion del Techo y de la Banca del Paradero”**



Fuente: Elaboración Propia

**f) SEXTO PASO**

**Implementación del jardín, del piso y la colocación de los vidrios del paradero**

- ❖ En la implementación del jardín del paradero se sembró grass y se plantó madre selva que es una planta que emite una fragancia agradable y se adapta al clima de la zona, el piso del paradero se colocaron mayólicas para lo cual se contrató un albañil con un ayudante y para colocar los vidrios de la publicidad se contrató un vidriero y un ayudante para la colocar el vidrio.

**FIGURA: 3.5-“Implementacion del Jardín, Piso y Vidrios del Paradero”**



Fuente: Elaboración Propia

**g) SEPTIMO PASO**

**Instalación de las luces y del sistema fotovoltaico del paradero**

- ❖ Se instalaron 8 reflectores led de 10W en todo el paradero también se instaló 2 paneles solares de 145 W, dos baterías de 200Ah, un controlador de carga de 12/24V y un inversor de 600w que conforman todo el sistema fotovoltaico del paradero.

**FIGURA: 3.6-“Instalacion de las luces y del Sistema Fotovoltaico en el Paradero”**



Fuente: Elaboración Propia

**Materiales para la instalación del panel fotovoltaico**

- ❖ 01 Tomacorrientes.
- ❖ 01 Cuchilla térmica de 16 A
- ❖ Cables para termocuplas
- ❖ 01 Llave corona de 7/16.
- ❖ 12 Pernos expandibles

- ❖ Broca de cemento de 3/8 de pulgadas
- ❖ 01 Caja para cuchilla térmica
- ❖ Cable mellizo N°12 código: AWG, 2 m
- ❖ 04 conectores de cable de 30 A.
- ❖ Cable vulcanizado N°12 código: AWG, 30 m.
- ❖ Cable para batería N° 8 de sección 8,32 mm<sup>2</sup>, código: AWG, 50 cm.
- ❖ 04 bornes para batería.
- ❖ 08 terminales de cable para batería.

### **Equipos para la instalación del panel fotovoltaico**

- ❖ 01 Inversor, marca: ENERGIT de 24 V de CD a 220 V de CA, y 60 Hz, 600 W
- ❖ 02 paneles fotovoltaicos de 145 Wp de 0,8 m de ancho x 1,45 m de largo, con marco de aluminio y placa absorbente de 72 celdas de silicio monocristalino de 0,12 m de ancho x 0,115 m de largo de 0,59 V cada celda.
- ❖ 02 Baterías, marca: POWERSAFE de 12 V y una capacidad de almacenamiento de 1200 A/h.
- ❖ 01 Taladro Sky
- ❖ 01 Regulador de Carga, marca: solar work de 20 A, con un voltaje de 12-24 V

### **Materiales y equipos para la medición**

- ❖ 01 Piranómetro
- ❖ 01 Cronómetro.
- ❖ 03 Multitester digital.
- ❖ 02 Termocuplas.

## **PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL ÁREA DEL PANEL FOTOVOLTAICO.**

- ❖ Determinar el área del marco de aluminio.
- ❖ Determinar el área del panel fotovoltaico
- ❖ Medir la longitud de ancho de la celda monocristalina
- ❖ Hacer las mediciones de la altura del panel y de la base del panel
- ❖ Contar el número de celdas monocristalinas verticalmente.
- ❖ Contar el número de celdas monocristalinas horizontalmente.
- ❖ Medir el espacio que hay de celda en celda.
- ❖ Medir la longitud de largo de la celda monocristalina.
- ❖ Determinar el área de la sumatoria de todas las celdas monocristalinas.

## **PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA POTENCIA Y EFICIENCIA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO**

- ❖ Determinar la intensidad de corriente del panel fotovoltaico
- ❖ Determinar la potencia pico del panel fotovoltaico.
- ❖ Observar en las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico la intensidad de corriente de salida de una celda fotovoltaica.
- ❖ Contar el número de celdas instaladas en paralelo
- ❖ Observar en las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico la tensión de una celda fotovoltaica.
- ❖ Contar el número de celda fotovoltaica instalada en serie.
- ❖ Determinar el voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico.

## **PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE PANELES REQUERIDOS**

- ❖ Ver en la Tabla (1) la irradiación diaria media mensual del mes de enero y agosto Escoger los equipos y cantidad de estos que se quieren alimentar con la carga del panel.
- ❖ Determinar el consumo energético teórico de todos los equipos a usar sumando todas las potencias del equipo el cual resultara la potencia requerida (watt-hora) que el panel tendrá que alimentar.

- ❖ Conocer la potencia requerida de los equipos que han de funcionar. (Ver en anexo)
- ❖ Multiplicar el número de equipos por la potencia requerida y por el tiempo en el que es usado y se obtiene la potencia del equipo (watt-hora).
- ❖ Determinar el consumo de energía real.
- ❖ Determinar el número de paneles

### **PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE ACUMULACION DE ENERGIA EN LAS BATERIAS.**

- ❖ Determinar la utilidad energética real de todos los equipos a utilizar.

### **PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR EL INVERSOR ADECUADO**

- ❖ Determinar la potencia de cada equipo que la instalación va demandar.
- ❖ Sumar la potencia de todos los equipos a utilizar y se determina la potencia instantánea máxima.
- ❖ Multiplicar la potencia instantánea máxima. Por el factor de seguridad del 50%

### **INSTALACIONES DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS**

- ❖ Los paneles fotovoltaicos se instalaron en serie respecto al regulador, siendo la tensión promedio que emite cada panel fotovoltaico 21,87 V, generándose así una tensión continua de 43 V en todo el arreglo fotovoltaico. Luego la tensión generada es enviada por el regulador a los acumuladores (baterías de gel).

### **INSTALACIONES DE LOS ACUMULADORES**

- ❖ Para la obtención de una tensión de 24 V; que va a alimentar a la línea de carga (consumo de energía) de corriente continua, las baterías se conectó en serie.

### 3.2.2. Tipo de la Investigación

- ❖ Cuasi Experimental.- La investigación cuasi experimental No hay manipulación de variables, éstas se observan y se describen tal como se presentan en su ambiente natural. Su metodología es fundamentalmente descriptiva, aunque puede valerse de algunos elementos cuantitativos y cualitativos.

### 3.2.3. Nivel de la Investigación

- ❖ Aplicada : La cual se va demostrar en los resultados obtenidos por el funcionamiento de los Paneles Solares

## 3.2. Diseño de la Investigación

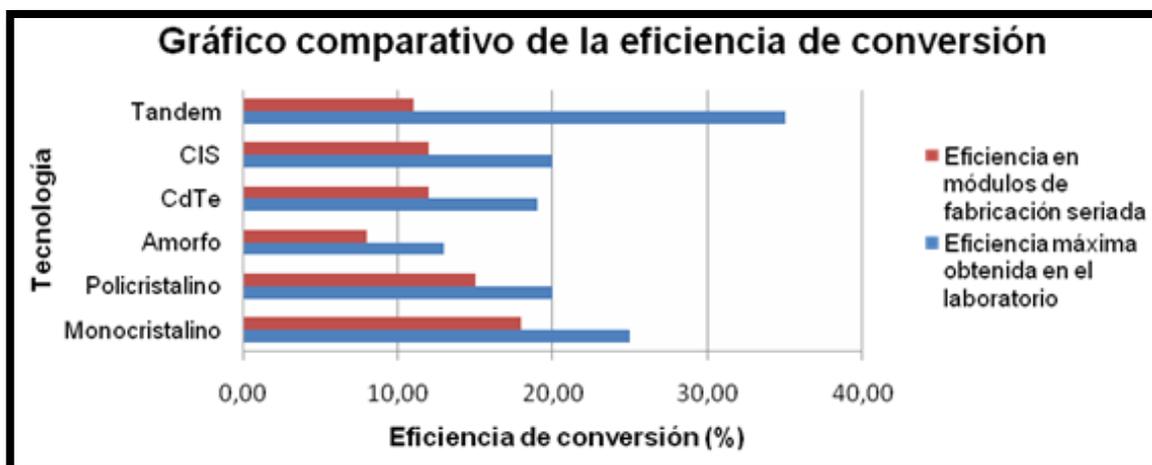
### Eficiencia de conversión:

Por eficiencia de conversión ( $\eta$ ) entiéndase la relación entre la potencia eléctrica útil de la célula ( $P_{MPP}$ ) y la potencia útil de la radiación solar incidente ( $P_G$ ), resultante de la superficie irradiada  $A$  y de la densidad de radiación  $P$ . Ver la ecuación (1):

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{P_G} \quad (1)$$
$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A \cdot P}$$

La potencia ( $P_{MPP}$ ) será analizada a continuación, en el tópico "Curvas corriente-voltaje (IV)". La eficiencia de conversión de una célula es expresada en (%). Cuanto más alto sea su valor, tanto mejor es el aprovechamiento de la irradiación solar global disponible. Se trata de un parámetro decisivo para el rendimiento económico de una instalación generadora FV. Si la eficiencia fuese baja, se necesitará, para el mismo rendimiento, de un área irradiada mayor. Por eso, para pequeñas áreas se deben seleccionar módulos con una excelente relación entre costo y eficiencia de conversión.

**FIGURA: 3.7-“Comparacion de la Eficiencia de Conversión”**



- **Degradación:**

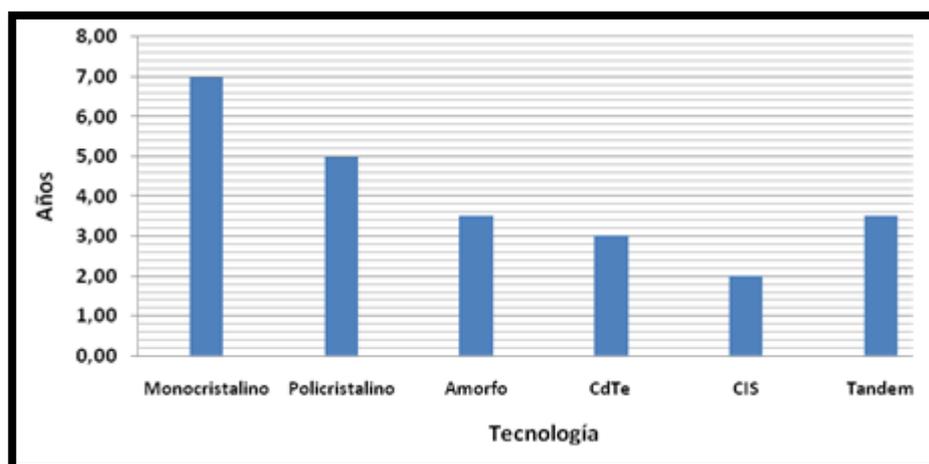
Todas las células solares pierden una fracción de potencia en las primeras horas en las que son expuestas a la luz, esto es debido, a las radiaciones ultra violeta (UV). En las células cristalinas, la degradación se produce después de aproximadamente 50 horas de exposición al sol. Con células amorfas este efecto se puede prolongar por unos tres meses y reducir la eficiencia de conversión en 1 % a 2 %. También a lo largo de toda su vida útil, las células solares continúan perdiendo potencia. Mientras tanto, las caídas en la eficiencia de conversión y la generación de energía en módulos solares pueden ser producidas por muchas causas simples, tales como polución en el vidrio de los módulos, acumulación de polvo, sombreado parcial o la sombra producida por el crecimiento de árboles y arbustos.

- **Amortización energética:**

Por amortización energética se entiende el tiempo en el cual la energía producida por un generador FV alcanza la energía empleada en su fabricación. Módulos FV de película fina presentan el mejor desempeño, amortizándose en dos o tres años. Instalaciones con células policristalinas necesitan de tres a cinco años para su amortización, y aquellas con

células monocristalinas requieren de cuatro a seis años. Por ello, este tiempo depende, entre otros factores, de la eficiencia de conversión energética efectiva.

**FIGURA: 3.8-“Amortizacion de energía en los Últimos Años”**



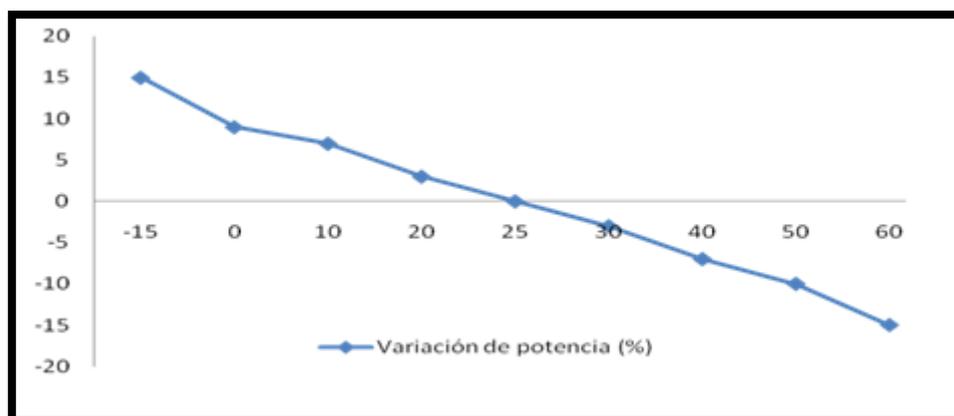
- **Características fotoeléctricas:**

Las características de las células fotoeléctricas son determinantes en la producción de energía solar optimizada sobre los aspectos técnicos y económicos. Tales características son indicadas en las especificaciones dadas por los fabricantes de los módulos. Además de la eficiencia de conversión, merecen un énfasis la temperatura nominal, la curva característica corriente-voltaje, el factor de relleno y el coeficiente de temperatura. Para posibilitar la comparación de la potencia de diversos módulos FV se utilizan condiciones de ensayo uniformes. Los datos técnicos de catálogo de las células solares se refieren siempre a condiciones normalizadas definidas. Las condiciones de ensayo internacional estandarizadas (STC) son: 25 °C de temperatura del módulo, 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiación solar y Air Mass (AM) de 1.5.

Esas condiciones de ensayo raramente o incluso nunca son alcanzadas a lo largo de un año de operación normal de una instalación generadora FV. Una radiación de 1kW/m<sup>2</sup> no es común en las latitudes de Europa

Central [5]. En operación normal sobre esa densidad Alemania (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), Francia (900-1650 kWh/m<sup>2</sup>) e España (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>). Por el contrario, se tienen registros para países de América Latina donde se obtienen las condiciones de radiación de test, con lo cual se evidencia la necesidad de validar el comportamiento en campo de una célula fotoeléctrica [6]. El voltaje en vacío  $U_{oc}$  (del inglés open circuit, circuito abierto) y la corriente de corto circuito  $I_{sc}$  (short circuit) son parámetros determinantes que deben ser considerados en el proyecto de una instalación generadora FV. La potencia nominal  $P_{MPP}$  o  $P_{Max}$  e los módulos FV es dada en Wp (watt pico). El término "pico" se refiere a potencia sobre condiciones de ensayo, que no corresponden directamente a aquellas de operación normal de la instalación generadora FV. No se trata tampoco de la potencia de célula o del módulo sobre radiación solar máxima, pero si es el valor de potencia bajo determinadas condiciones de radiación.

**FIGURA: 3.9-“Variación de la Potencia (KWh/m<sup>2</sup>) en función de la Temperatura de Celula(°C)”**

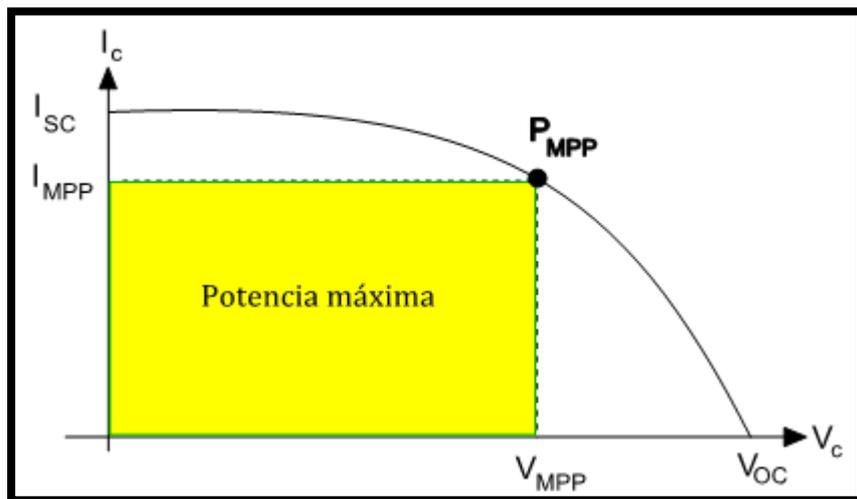


#### **Curva corriente-voltaje (IV):**

Para representar las características eléctricas y la potencia de las células solares se construyen las curvas características corriente-voltaje (curvas IV). La corriente nominal de la célula solar ( $I_{MPP}$ ) se sitúa cerca del 5 %

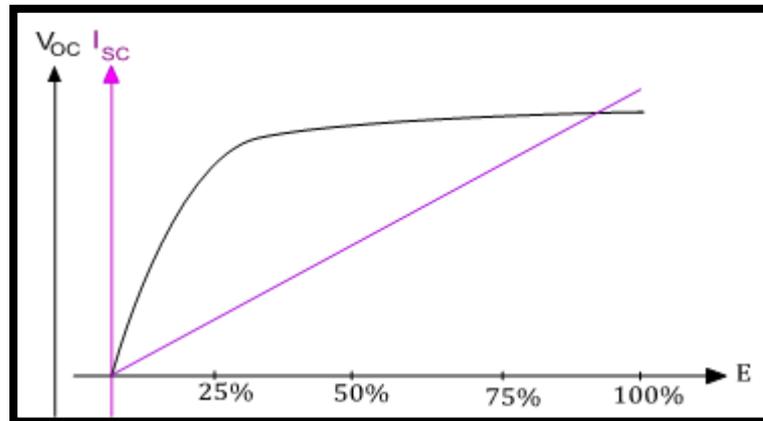
debajo de la corriente de corto-circuito ( $I_{SC}$ ). Puesto que el voltaje de la célula ( $U_{MPP}$ ), depende del material, su valor es un 20 % inferior al voltaje en vacío, en la, se ha exagerado la representación gráfica de estos % solo para hacerlos más notorios visualmente. El punto de potencia máxima (MPP, del inglés Maximum Power Point) es el punto de operación ideal de una célula, en el cual se alcanza la potencia máxima que puede ser proporcionada, producto del voltaje por la corriente de célula. A los fabricantes le compete proporcionar las curvas corriente-voltaje para las células y módulos. Los datos son obtenidos en condiciones de laboratorio con base en parámetros definidos (STC).

**FIGURA: 3.10-“Característica Corriente-Voltaje de una Celula Cristalina de Silicio”**



El voltaje que surge en la célula con una pequeña radiación solar y permanece entonces casi constante. La corriente de corto-circuito se comporta proporcionalmente a la radiación, una característica de los materiales semiconductores como el silicio.

**FIGURA: 3.11-“Curva Característica de Cortocircuito y Voltaje en Vacío en Función de la Radiación E en W/m<sup>2</sup>”.**



Con el fin de que las células solares puedan entregar su potencia máxima, la carga alimentada debe ser ajustada de modo que el punto de operación se localice siempre en el Punto de Potencia Máxima (MPP). Ese ajuste debe ser efectuado regularmente, dado que el MPP se desajusta constantemente en función de la radiación solar y de la temperatura de la célula. En general, esa tarea de ajuste es realizada por el rastreador (MPP-Tracker) o regulador integrado en el inversor. En generadores FV conectados a red, la regulación de MPP se procesa a través del inversor, cuyo voltaje continuo ( $U_{cc}$ ) de entrada es ajustado al voltaje de servicio ideal por medio de resistores.

#### **Coefficiente de temperatura:**

Al seleccionar un tipo de montaje de módulos, los coeficientes de temperatura ( $T_K$ ) son decisivos. Dado que, para efectos de una mejor comparación, los módulos son evaluados conforme a parámetros estandarizados, según los cuales la temperatura considerada es de 25°C. El voltaje, la corriente, y por tanto, la potencia de una célula solar dependen de la temperatura de la célula. El coeficiente de temperatura indica en cuanto el voltaje en vacío, la corriente de corto-circuito, la potencia y la eficiencia de conversión de una célula se reducen ante un incremento de temperatura.

Se admite un valor del orden de  $\leq 0.5 \text{ \%}/\text{K}$ . Cuanto más próximo de cero se encuentre este valor, mejor es el desempeño en cuanto a temperatura. El coeficiente de temperatura es dado en (%) o en (V) referido a 1K o 1 °C, como diferencia con respecto a la temperatura de referencia. En módulos cristalinos el coeficiente de temperatura es de cerca de  $-0.45 \text{ \%}/\text{K}$ . Módulos de película fina presentan valores debajo de  $-0.2 \text{ \%}/\text{K}$ . Como en las células cristalinas el coeficiente de temperatura negativo es comparativamente alto, se recomienda ventilación suficiente en la parte posterior. Experiencias demostraron que un incremento de apenas 5 cm en la distancia entre el generador FV y la superficie de cobertura o el techo posibilita un rendimiento de 2 % a 3 % mayor.

### **3.3. Hipótesis de la Investigación**

#### **3.3.1. Hipótesis General**

- ❖ Mediante el diseño de un sistema fotovoltaico se obtendrá una eficiencia de un 80% para el suministro energético de un paradero ubicado en el campus universitario UAP – filial Huancayo.

#### **3.3.2. Hipótesis Específicas**

- ❖ Se necesitara 1060 W/día para suministrar la demanda energética del paradero que se desarrollara en el campus universitario UAP – filial Huancayo.
- ❖ Los parámetros para determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico serán la tensión y la radiación Uv.
- ❖ El dimensionamiento del sistema fotovoltaico conformaran dos paneles de 145 W, dos baterías de 200 Ah un controlador de 20 A y un inversor de 600 W/h.
- ❖ La eficiencia del sistema fotovoltaico superara el 80%.

### **3.4. Variables**

#### **3.4.1. Variable Independiente**

- ❖ Área del Panel mono cristalino (Wh).
- ❖ Radiación Solar (UV).

##### **Indicadores**

- 1000W/m<sup>2</sup>
- Horas de luz

#### **3.4.2. Variable Dependiente**

- ❖ Temperatura °C
- ❖ Angulo de inclinación
- ❖ Voltaje del sistema
- ❖ Energía eléctrica

### **3.5. Cobertura del Estudio.**

#### **3.5.1. Universo**

- ❖ El universo del proyecto será el sistema fotovoltaico

#### **3.5.2. Población**

- ❖ La población de estudio será la energía generada por el panel solar monitoreado directamente del sistema fotovoltaico, como estos datos son adquiridos continuamente se trata de una población infinita.

#### **3.5.3. Muestra**

- ❖ La muestra tomada para el presente trabajo se desarrollara durante cuatro meses de los cuales se tomaran solo datos de los días más soleados durante diez horas consecutivas en el distrito de Huancayo, departamento de Junín.

#### **3.5.4. Muestreo**

- ❖ Se realizó un muestreo aleatorio simple debido a que en esta técnica, cada miembro de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado como muestra. Todo el proceso de toma de muestras se realiza en un paso, en donde cada muestra es seleccionada independientemente de los otros miembros de la población.

## 3.6. Técnicas e Instrumentos

### 3.6.1. Técnicas de la Investigación

- ❖ La técnica que se utilizara en el presente trabajo de investigación para la obtención de resultados fue principalmente:
  - Monitoreo en campo
  - Observación Directa
  - Comparación de datos.
  - Interpretación de Resultados.

### 3.6.2. Instrumentos de la Investigación

- ❖ Fotografías
- ❖ instrumentos de monitoreo.
- ❖ Atlas solar del Perú
- ❖ Encuestas
- ❖ Programas de comparación de datos
- ❖ Diapositivas

## 3.7. Procesamiento Estadístico de la Información.

### 3.7.1. Estadísticos

- ❖ Las medidas de tendencia central que se utilizaran en el presente trabajo de investigación son la media, la moda, la desviación estándar y la dispersión.

$$media = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

### 3.7.2. Representación

- ❖ Las representaciones que utilizare para el presente trabajo de investigación serán la graficas estadísticas de barra, tablas de comparación de datos, imágenes y esquemas. Mediante ecuaciones y los análisis estadísticos según el software estadístico desarrollado.

#### 3.7.2.1. Técnica de Comprobación de la Hipótesis

Para realizar la comprobación de la hipótesis del presente trabajo se utilizara el Anova por **Test de Tukey**.

**CAPÍTULO IV**  
**ORGANIZACIÓN, PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS**  
**4.1 RESULTADOS**

**Tabla 4.1 Resultados de Monitoreo del Mes Junio**

<b>MES DE JUNIO</b>			
<b>Hora</b>	<b>V_PANEL</b>	<b>I_PANEL</b>	<b>P_PANEL</b>
06:00 a.m.	15.15	8.02	150.36
07:00 a.m.	15.42	8.63	160.42
08:00 a.m.	15.63	8.73	164.15
09:00 a.m.	15.64	8.9	166.97
10:00 a.m.	15.62	8.83	165.77
11:00 a.m.	15.71	8.75	165.19
12:00 p.m.	15.64	8.76	164.77
01:00 p.m.	15.55	8.74	163.53
02:00 p.m.	15.48	8.5	158.86
03:00 p.m.	15.35	8.39	155.79
04:00 p.m.	15.4	8.17	152.68
05:00 p.m.	15.15	7.76	143.73

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.1 se muestra los resultados de los parámetros de voltaje, corriente y potencia promedios monitoreado durante el mes de Junio del año 2015

**Tabla 4.2 Resultados de Monitoreo del Mes Julio**

<b>MES DE JULIO</b>			
<b>Hora</b>	<b>V_PANEL</b>	<b>I_PANEL</b>	<b>P_PANEL</b>
06:00 a.m.	14.93	8.19	164.17
07:00 a.m.	15.30	8.12	166.47
08:00 a.m.	14.72	8.68	170.29
09:00 a.m.	14.59	8.86	171.28
10:00 a.m.	15.08	8.22	166.17
11:00 a.m.	14.58	8.67	168.37
12:00 p.m.	15.22	8.17	166.5
01:00 p.m.	15.34	8.07	166.35
02:00 p.m.	15.76	7.87	167.04
03:00 p.m.	14.74	8.46	166.5
04:00 p.m.	15.34	7.95	164.16
05:00 p.m.	14.90	8.40	167.09

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.2 se muestra los resultados de los parámetros de voltaje, corriente y potencia promedios monitoreado durante el mes de Julio del año 2015

**Tabla 4.3 Resultados de Monitoreo del Mes de Agosto**

<b>MES DE AGOSTO</b>			
<b>Hora</b>	<b>V_PANEL</b>	<b>I_PANEL</b>	<b>P_PANEL</b>
06:00 a.m.	14.33	7.94	158.08
07:00 a.m.	14.11	7.84	154.45
08:00 a.m.	14.64	7.35	151.46
09:00 a.m.	14.97	7.5	156.79
10:00 a.m.	14.31	7.97	158.55
11:00 a.m.	15.16	7.43	157.63
12:00 p.m.	14.90	7.59	157.91
01:00 p.m.	14.74	7.62	156.7
02:00 p.m.	14.37	7.78	155.88
03:00 p.m.	14.71	7.54	155.14
04:00 p.m.	14.65	7.66	156.73
05:00 p.m.	14.72	7.53	155.16

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.3 se muestra los resultados de los parámetros de voltaje, corriente y potencia promedios monitoreado durante el mes de Agosto del año 2015

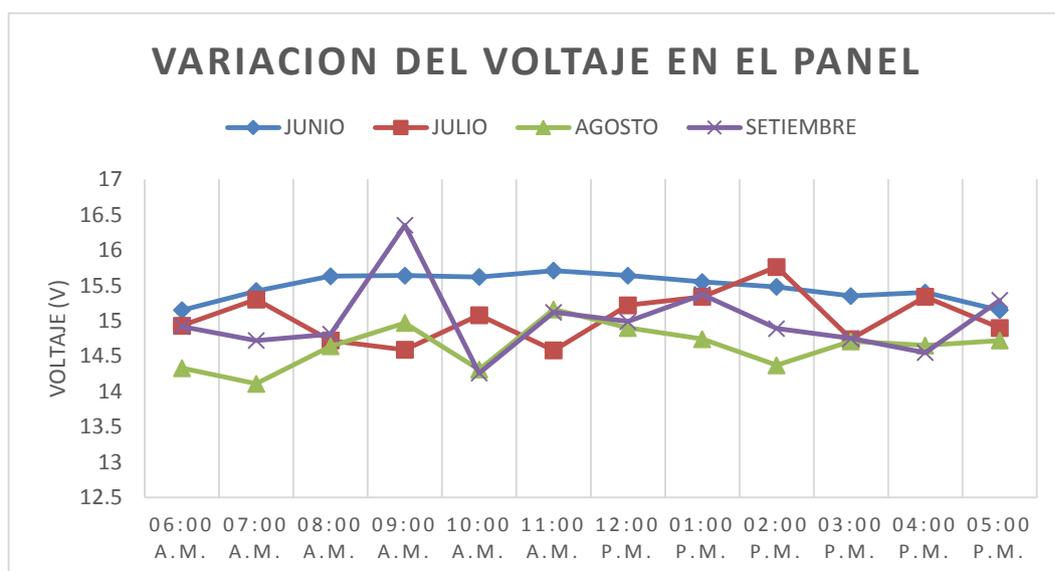
**Tabla 4.4 Resultados de Monitoreo del Mes de Setiembre**

MES DE SETIEMBRE			
Hora	V_PANEL	I_PANEL	P_PANEL
06:00 a.m.	14.92	7.7	152.68
07:00 a.m.	14.72	7.57	148.68
08:00 a.m.	14.81	7.79	153.13
09:00 a.m.	16.35	7.63	149.79
10:00 a.m.	14.26	8.02	151.82
11:00 a.m.	15.12	7.63	152.84
12:00 p.m.	14.99	7.53	150.34
01:00 p.m.	15.37	7.25	149.36
02:00 p.m.	14.89	7.57	150.45
03:00 p.m.	14.75	7.69	150.28
04:00 p.m.	14.55	7.64	148.49
05:00 p.m.	15.29	7.41	151.04

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.4 se muestra los resultados de los parámetros de voltaje, corriente y potencia promedios monitoreado durante el mes de Setiembre del año 2015

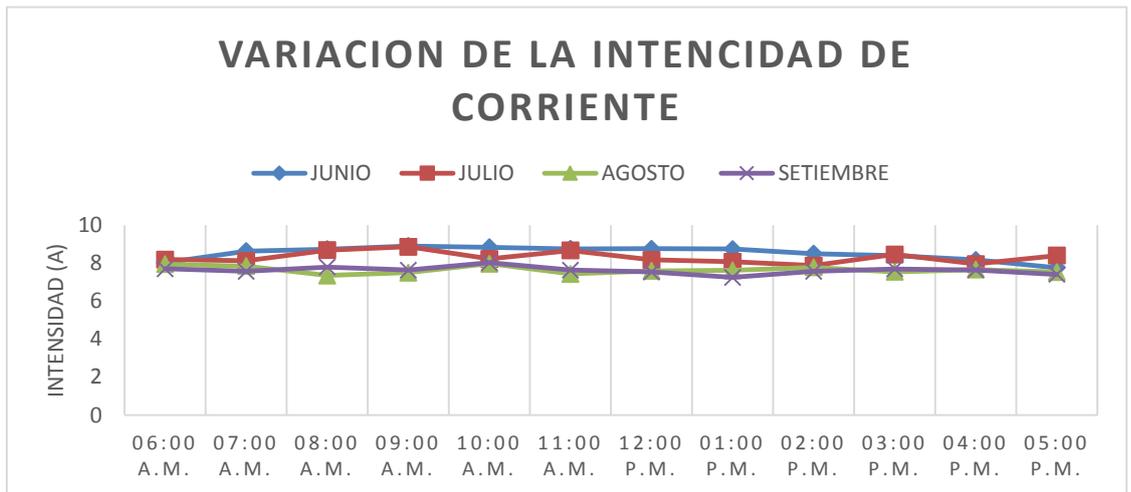
**Figura 4.1 Variación del Voltaje en el Panel**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.1 observamos el comportamiento del voltaje en el panel solar en los cuatro meses de monitoreo desde las 6:00am hasta las 5:00 pm donde podemos decir que en el mes de Julio hay picos superiores a los demás respecto al voltaje

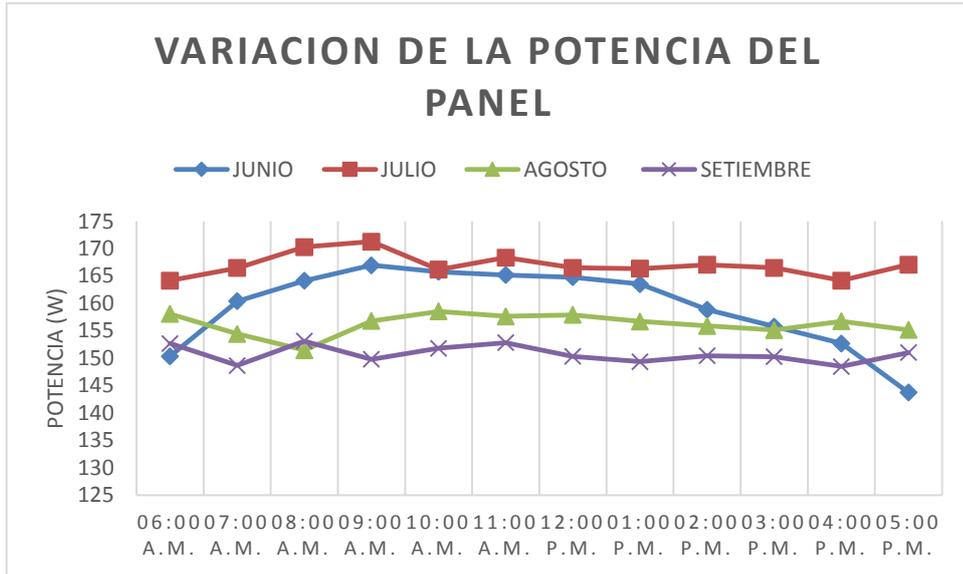
**Figura 4.2 Variación de la Intensidad de Corriente en el Panel**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.2 observamos el comportamiento de la intensidad de corriente en el panel solar en los cuatro meses de monitoreo desde las 6:00am hasta las 5:00 pm de donde podemos decir que en el mes de Julio hay picos superiores a los demás respecto a la intensidad y las menores intensidades se dieron en el mes de setiembre.

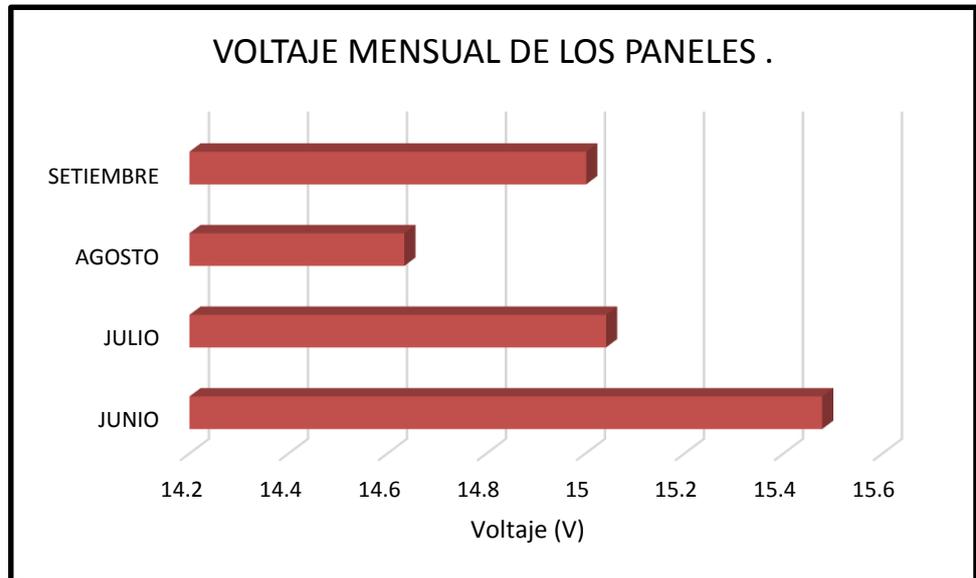
**Figura 4.3 Variación de la potencia en el Panel**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.3 observamos el comportamiento de la Potencia en el panel solar en los cuatro meses de monitoreo desde las 6:00am hasta las 5:00 pm de donde podemos decir que existe diferencias significativas entre dichos meses de monitoreo al igual que en los datos de voltaje y corriente en el mes de julio es mayor la potencia

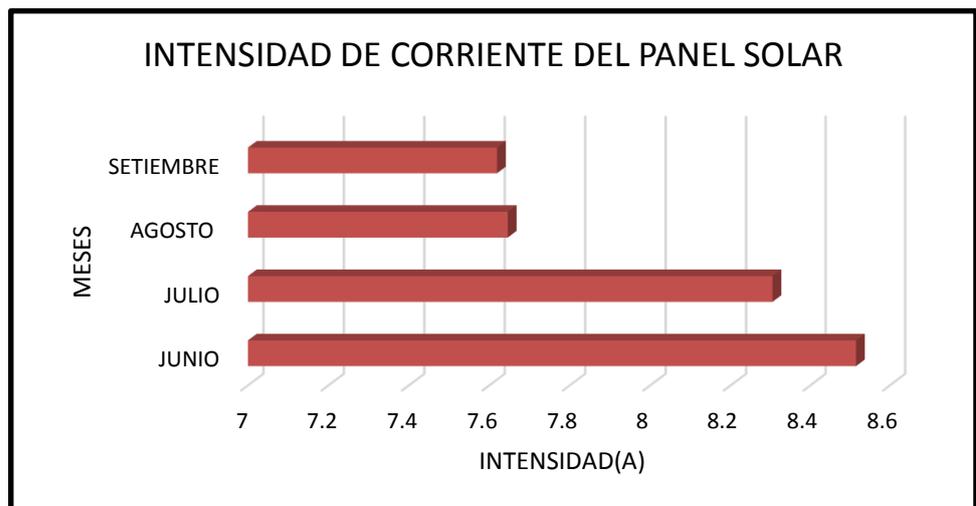
**Figura 4.4 Voltaje en los Paneles Mensuales**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.4 observamos el promedio del voltaje durante los cuatro meses encontrando el mayor voltaje en el mes de junio con un valor de 15.47 voltios.

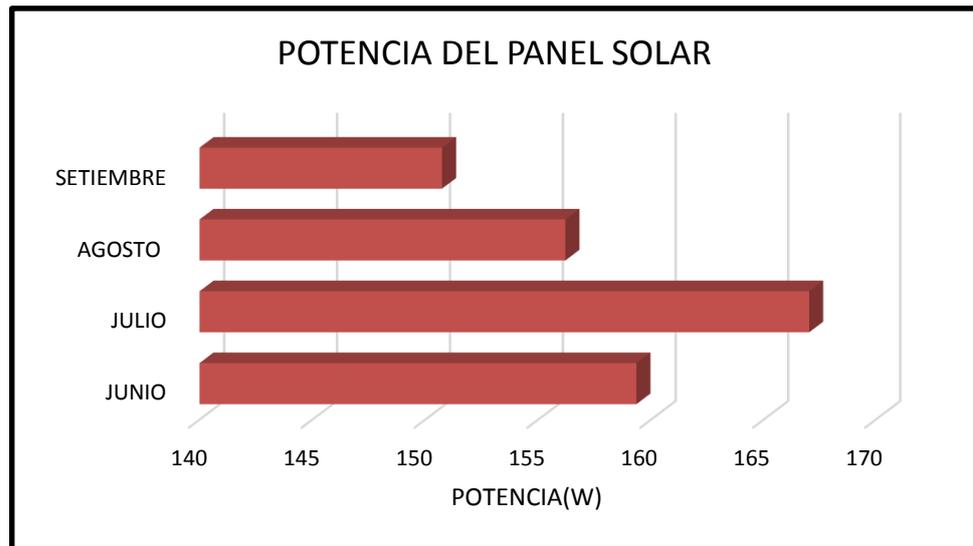
**Figura 4.5 Intensidad de Corriente en los Paneles Mensual**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.5 observamos el promedio de la intensidad de corriente durante los cuatro meses encontrando la mayor intensidad de corriente en el mes de junio con un valor de 8.5 amperios.

**Figura 4.6 Potencia en los Paneles Mensual**



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.6 observamos el promedio de la potencia durante los cuatro meses encontrando el mayor intensidad potencia en el mes de julio con un valor de 156.2watts.

## 4.2 Calculo del Area del Panel Fotovoltaico.

De acuerdo al arreglo de las células del panel fotovoltaico, podemos determinar el área del panel (Ver la Figura 4.1) de la siguiente manera:

$$A_c = A_{pc} + A_M \quad (4.1)$$

Dónde:

$A_c$ : Área del panel fotovoltaico (m<sup>2</sup>)

$A_{pc}$ : Área de la sumatoria de todas las celdas mono cristalinas (m<sup>2</sup>)

$A_M$ : Área del marco de aluminio (m<sup>2</sup>)

Y el viene dado por la siguiente fórmula:

$$A_{pc} = H_c \times b \quad (4.2)$$

Dónde:

$H_c$ : Altura del panel FV (m)

$b$ : Base del panel FV (m)

Como  $H_c$  y viene dado por:

$$H_c = N_{PH} \times L_H + (N_{PH} - 1)e \quad (4.3)$$

$$b = N_{Pb} \times L_b + (N_{Pb} - 1)e \quad (4.4)$$

Dónde:

$N_{PH}$ : Número de celdas monocristalinas verticalmente.

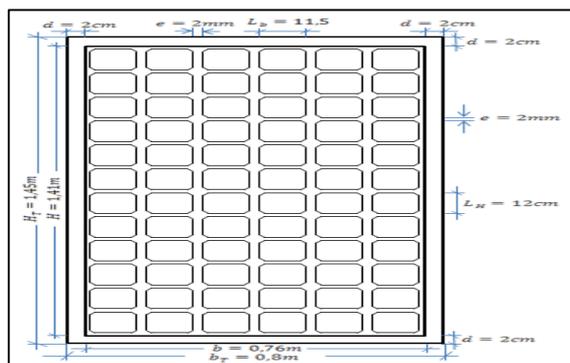
$L_H$ : Longitud de largo de la celda monocristalina (m)

$e$ : Espacio entre cada celda monocristalina (m)

$N_{Pb}$ : Número de celda monocristalina horizontalmente (m)

$L_b$ : Longitud de ancho de la celda mono cristalina (m)

**FIGURA 4.7-“Dimensiones del Panel Fotovoltaico”**



Fuente: Elaboración Propia

Entonces y reemplazando en la ecuación (4.2) se tiene:

$$A_{pc} = [N_{PH} \times L_H + (N_{PH} - 1)e] \times [N_{Pb} \times L_b + (N_{Pb} - 1)e]$$

$$A_{pc} = [12 \times 0,115 + (12 - 1)0,002] \times [6 \times 0,12 + (6 - 1)0,002]$$

$$A_{pc} = 1,023 \text{ m}^2$$

Donde el  $A_M$  viene dado por la ecuación, siendo el ancho del aluminio:

$$A_M = 2x[dH_c + db] + 4d^2$$
$$A_M = 2x[0,02(1,141) + 0,02(0,76)] + 4(0,02)^2$$
$$A_M = 0,88m^2$$

Reemplazando los valores en (4.1) tenemos:

$$A_c = 1.11m^2$$

**Discusión:** Se trabaja con los datos de un solo panel fotovoltaico y con los números de celdas que requiere un panel de 145 watt y con las especificaciones técnicas de los fabricantes se determina un modelo que nos da un área de  $1.11m^2$

**Discusión:** El modelo matemático es dado por un balance de energía ya que no podemos medir la temperatura de la placa la cual se encuentra herméticamente sellada, este modelo relaciona la temperatura de la placa y la del panel fotovoltaico.

### 4.3. Calculo de la Potencia y de la Eficiencia del Panel Fotovoltaico.

Cálculos para la conexión interna del panel fotovoltaico. Se cuenta con las siguientes especificaciones de la celda fotovoltaica.

- ❖ Voltaje de circuito abierto de una celda:  $V_{oc}^1 = 0,59V_{cc}$
- ❖ Intensidad de corriente de salida de una celda:  $I_{sc}^1 = 4A$
- ❖ Número indefinido de cedulas instalados en serie:  $n_s = 36$
- ❖ Número indefinido de cedulas instalado en paralelo:  $n_p = 2$

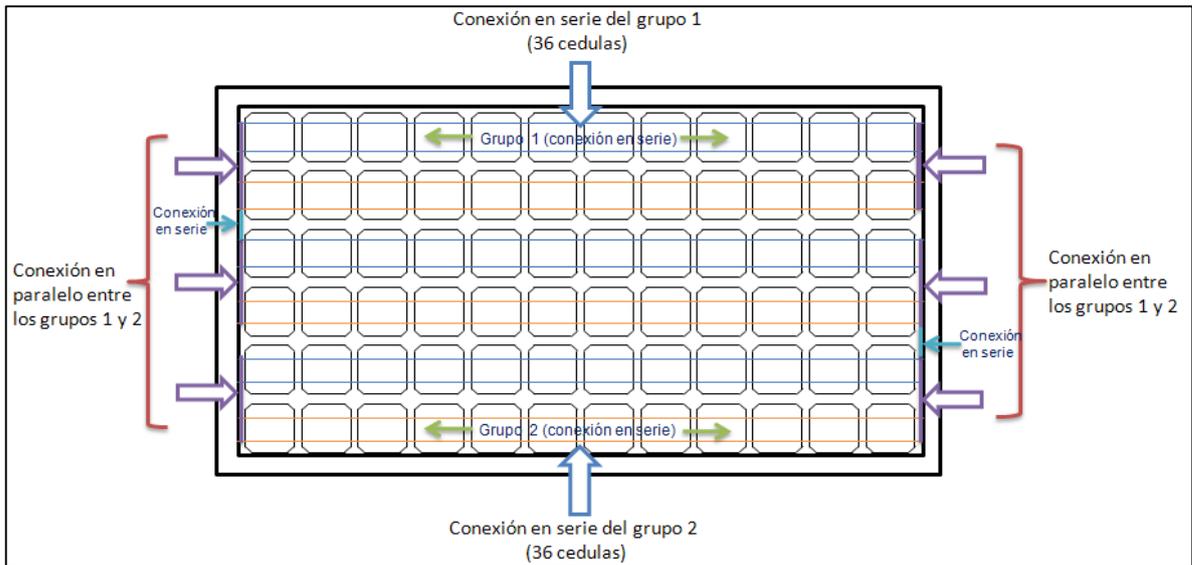
Remplazar en la siguiente ecuación, y determinar el voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico.

$$V_{oc} = V_{oc}^1 x n_s \quad (4.13)$$

$$V_{oc} = 0,59V_{cc} x 36$$

$$V_{oc} = 21,24V_{cc}$$

**FIGURA 4.8-“Arreglo Interno del Panel Fotovoltaico”**



Fuente: Elaboración Propia

Determinar la intensidad del panel

$$I_{SC} = I_{SC}^1 \times n_p \quad (4.14)$$

$$I_{SC} = 8,45A$$

Hallar la potencia pico del panel fotovoltaico

$$W_p = V_{oc} \times I_{SC} \quad (4.15)$$

$$W_p = 179,478W \approx 180W$$

Hallar la eficiencia del panel

$$n_c = \frac{P_m}{G_T \times A_c} \quad (4.16)$$

$$n_c = \frac{145Wp}{1000 \frac{W}{m^2} \times 1,11m^2} \times 100\%$$

$$n_c = 15,32\%$$

#### 4. 4 Cálculo para el Número de Paneles Requerido.

Para determinar la potencia hay que sumar la potencia total por unidad que consume y resultara la potencia requerida (watt-hora), el cual el panel tendrá que alimentar.

**TABLA 4.5- “Consumo Energético Estimado”**

Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo (h)	Energía (W)
Reflectores	8	10	1	880
Consumo Energético Teórico $E_T$				880

Fuente: Elaboración Propia

Determinamos el consumo de energía total (  $E$  )

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (4.17)$$

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) \times \left(1 - \frac{k_a N}{P_d}\right) \quad (4.18)$$

Dónde:

$R$ : Parámetro de rendimiento global

$E_T$ : Consumo Energético Teórico (Wh)

$k_b$ : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador

0,05 en sistemas que no demanden descargas intensas

0,1 en sistemas con descargas profundas

$k_c$ : Coeficientes de pérdidas en el convertidor

0,05 para convertidores senoidales puros, trabajando en régimen optimo

0,1 en otras condiciones de trabajo, lejos de lo óptimo.

0,002 para baterías de baja auto descarga Ni-Cd

0,005 para baterías estacionarias de Pb-acido

0,012 para baterías de alta auto descarga (arranque de automóviles)

$N$ : Número de días de autonomía de la instalación

$P_d$ : Profundidad de descarga diaria de la batería

Los valores de coeficiente de pérdidas son:

$$k_b = 0,1; k_c = 0,05; k_v = 0,05; k_a = 0,005; N = 4; P_d = 0,7$$

$$R = (1 - 0,1 - 0,05 - 0,05) \times \left(1 - \frac{0,005 \times 4}{0,7}\right) = 0,777$$

Reemplazamos  $R$  en la siguiente ecuación:

$$E = \frac{880}{0,777}$$

$$E = 1132.56 \text{Wh/dia}$$

Determinamos el número de paneles ( $NP$ ):

$$NP = \frac{E}{0,9xW_p x HPS} \quad (4.19)$$

Dónde:

$HPS$ : Horas pico solar (h)

$W_p$ : Potencia pico de cada panel solar (V)

$$NP_{Ago} = \frac{1132.56}{0,9x145x4,8} = 2,09 \approx 2$$

$$NP_{Ene} = \frac{1132.56}{0,9x145x5} = 2,09 \approx 2$$

**Discusión:** La determinación del número de paneles sirve para satisfacer el consumo energético de los equipos con las que se está trabajando el paradero ubicado en la UAP filial Huancayo.

#### 4.5 Calculo para la Capacidad de Acumulación de Energía en las Baterías

$$C = \frac{ExN}{VxP_d} \quad (4.20)$$

Dónde:

$V$ : Tensión nominal del acumulador (12V)

$$C = \frac{1132.56x2}{12x0,5} = 377,52 \text{ Ah}$$

**Discusión:** La capacidad de las baterías o acumuladores dependen en gran manera del consumo de la energía real de los equipos que se está trabajando.

#### 4.6 Calculo para el Número de reguladores a Utilizar

$$I = A_{SC} x NP \quad (4.21)$$

$$I = 8,45Ax2 = 16,9A$$

#### 4.7 Calculo para Seleccionar el Inversor Adecuado.

$$P_{int} = \sum P_{Equipos} \quad (4.22)$$

$$P_{int} = P_{reflector} + P_{cargador} + P_{pantalla} \quad (4.23)$$

$$P_{inv} = P_{int} \times 1,5 \quad (4.24)$$

Dónde:

$P_{int}$ : Potencia Instantánea (W)

$P_{Equipos}$ : Potencia requerida por los equipos (W)

$P_{reflector}$ : Potencia de los reflectores (W)

$P_{pantalla}$  Potencia requerida de la pantalla digital (W)

$P_{inv}$ : Potencia del inversor (W)

$$P_{int} = 8 \times 10W + 5W + 30W = 115W$$

$$P_{inv} = 115 \times 1,5 = 172,5W$$

#### 4.8 Determinando la eficiencia de la energía del panel fotovoltaico:

Hallando la eficiencia:

$$n = \frac{P_{inv}}{P_p} \times 100$$

Dónde:

$P_{inv}$ : Potencia del inversor, W

$P_p$ : Potencia del panel, W

$$n = \frac{172,5}{290} \times 100$$

$$n = 59,5\%$$

**Discusión:** La eficiencia de la corriente fotovoltaica nos arroja es  $n = 73,2\%$  muy cercano a la eficiencia utilizando corriente convencional. Por lo tanto es eficaz la utilización de esta energía renovable para este proyecto.

## CONCLUSIONES

- ❖ Se analizó la influencia de los factores climáticos y geográficos en la ciudad de Huancayo, que permitieron estimar la generación de energía eléctrica, de los paneles fotovoltaicos. Siendo estos factores de Irradiación promedio 4,9 kW/m<sup>2</sup>, latitud 12.0S, altitud 3249 msnm y un ángulo de inclinación de 25,5° para el panel fotovoltaico.
- ❖ Se determinó la superficie de captación de energía solar de los paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica para el suministro de la demanda energética del paradero, siendo el área determinada de, que equivale a los dos paneles fotovoltaicos que generara una potencia promedio de 290 W con una corriente de 16 A y 43 V.
- ❖ Se validó experimentalmente el módulo del panel fotovoltaico en la generación de energía eléctrica para el suministro energético del paradero obteniendo una eficiencia de  $n = 60.7\%$  con corriente convencional (CA de 220)

## **RECOMENDACIONES**

- ❖ Difundir el uso de esta energía alternativa, que puede ser aplicada a procesos electroquímicos ambientales, ya que las instalaciones de este tipo son silenciosas, requieren un mantenimiento mínimo, sencillo, y no producen polución térmica ni emisiones de CO<sub>2</sub>.
- ❖ Se recomienda utilizar para este proceso, baterías de gel de alta potencia, debido a que las baterías convencionales emiten gases contaminantes que son perjudiciales para la salud y el ambiente.
- ❖ Instalar un sistema de refrigeración en el panel fotovoltaico; con el fin de mejorar la eficiencia

## BIBLIOGRAFIA

1. Chapin D.M., Fuller C.S. and Pearson G.L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. J. Appl. Phys. 25, 676, 1954.
2. Oyola J.S., Gordillo G. Estado del arte de los materiales fotovoltaicos y de la tecnología solar fotovoltaica. Prospectiva, 6(2), 11-15,2007.
3. Rodríguez H. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Ingeniería Universidad de los Andes. 28, 83-89, 2008.
4. Méndez J.M., Energía solar fotovoltaica 2da edición, fundación confemetal, Madrid, 2007.
5. Romero M., Monografías de la construcción: Energía solar Fotovoltaica, ceac, Barcelona, 2010.
6. Roldan J., Instalaciones solares fotovoltaicas, paraninfo, Madrid, 2010.
7. Rodríguez H. y González F., Manual de radiación solar en Colombia, H. Rodríguez y editores, Bogotá, 1994.
8. EUROPEAN COMMISSION, "Photovoltaic solar energy: Development and current research". [en línea], 2009, [Consultado: 25 Oct. 2013], Disponible en: <http://europa.eu>.
9. EUROPEAN COMMISSION, "A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology". [en línea], 2011, [Consultado: 25

October 2013], Disponible en: <http://www.eupvplatform.org/publications/strategic-researchagenda-implementation-plan.html>.

10. SIDRACH DE CARDONA, M.; *et al.*, "Degradación de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino tras 12 años de operación en España". En : IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES\_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), Cusco, 2010, [en línea], Disponible en: [http://perusolar.org/17-spes-taller-2/Sidrach\\_Mariano/Sidrach\\_mariano.pdf](http://perusolar.org/17-spes-taller-2/Sidrach_Mariano/Sidrach_mariano.pdf).
11. HUNTER FANNEY, A.; *et al.*, "Comparison of Photovoltaic Module Performance Measurements". Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, 2006, [en línea], [Consultado: mayo 2013], vol.128, n.2, doi: 10.1115/1.2192559, Disponible en: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build05/PDF/b05047.pdf>, ISSN 0199-6231.
12. BONHAGEN, S., "Parámetros comparativos de células fotovoltaicas para generación de energía". Eletricidade Moderna, 2013, [en línea], [Consultado: 25 October 2013], Disponible en: [http://www.arandanet.com.br/midiaonline/eletricidade\\_moderna](http://www.arandanet.com.br/midiaonline/eletricidade_moderna).
13. BUENO PEREIRA, E.; *et al.*, "Atlas Brasileiro de Energia Solar". 2006, [en línea], [Consultado: 25 October 2013], Disponible en: [http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas\\_solar-reduced.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf).
14. LÓPEZ LAPEÑA, O.; *et al.*, "A Closed-Loop Maximum Power Point Tracker for Subwatt Photovoltaic Panels". IEEE Transactions on Industrial Electronics, [en línea], [Consultado: October 2013] doi: 10.1109/TIE.2011.2161254, Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.unal.edu.co/Xplore/home.jsp>, ISSN 0278-0046.
15. DOBRZANSKI, L.A.; *et al.*, "Comparison of electrical characteristics of silicon solar cells". Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2006, [en línea] vol.18, n.1-2, Disponible en: [http://ww.journalamme.org/papers\\_amme06/1306.pdf](http://ww.journalamme.org/papers_amme06/1306.pdf), ISSN 1734-8412.

16. AGUILERA, J. y HONTARIO , L. *Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. Curso de Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: CIEMAT, 2004. Disponible en: <http://www.ujaen.es/dep/ingeauto/PgPersonal/PPLHontoria/PPLHontoriaInvestigacion/CapLibros /LHontoriaCiemat2004.pdf>
17. IDAE. *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: CIEMAT, 2009. Disponible en internet: [http://www.idae.es/index.php/mod=documentos/mem/DescargaFile=documentos/5654\\_FV\\_Pliego\\_aisladas\\_de\\_red\\_09\\_bec59187](http://www.idae.es/index.php/mod=documentos/mem/DescargaFile=documentos/5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_bec59187).
18. NIEZ, A., *Comparative Study on Rural Electrification Policies in Emerging Economies. Keys to success full policies*. 1era Edición. Francia: International Energy Agency, 2010. 118 p. Disponible en internet: <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/fulltext/5kmh3nj5rzs4.pdf?expires=1283027271&id=0000&accname=quest&checksum=C55C7D3112EFD146328D653AE57B90BD>
19. ALARCON, R. "Sistema Híbrido Eólico-Diesel para el Abastecimiento de Energía Eléctrica de 20 Cabañas Turísticas en Cayo Caguamas". *Ingeniería Mecánica* . 2001, nº 4, p. 33-37. ISSN 1815-5944. Disponible en: [http://www.cujae.edu.cu/ediciones/Revistas/Mecanica/Vol-4-2001/09\\_SistemaHíbrido\\_Alarcón\\_pag.pdf](http://www.cujae.edu.cu/ediciones/Revistas/Mecanica/Vol-4-2001/09_SistemaHíbrido_Alarcón_pag.pdf)
20. LAMBERT, T.; GILMAN, P y LILIENTHA, P. "Micropower System Modeling With Homer". En: *Integration of Alternative Sources of Energy*. 2006. Disponible en: <http://www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf>
21. HOMER. *Hybrid Optimisation Models for Electric Renewables*. Disponible en: <http://www.nrel.gov/homer>

## **ANEXOS**

**ANEXO 1: “Área de la Plataforma para el Paradero”.**



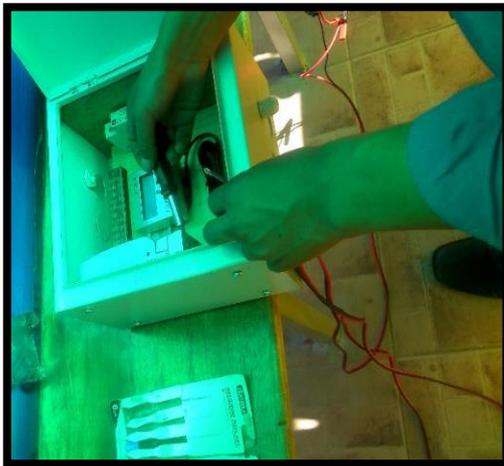
Fuente: Elaboración Propia

**ANEXO 2: “Estructura para el Paradero”**



Fuente: Elaboración Propia

**ANEXO 3: “Instalación de los Equipos del Sistema Fotovoltaico”**



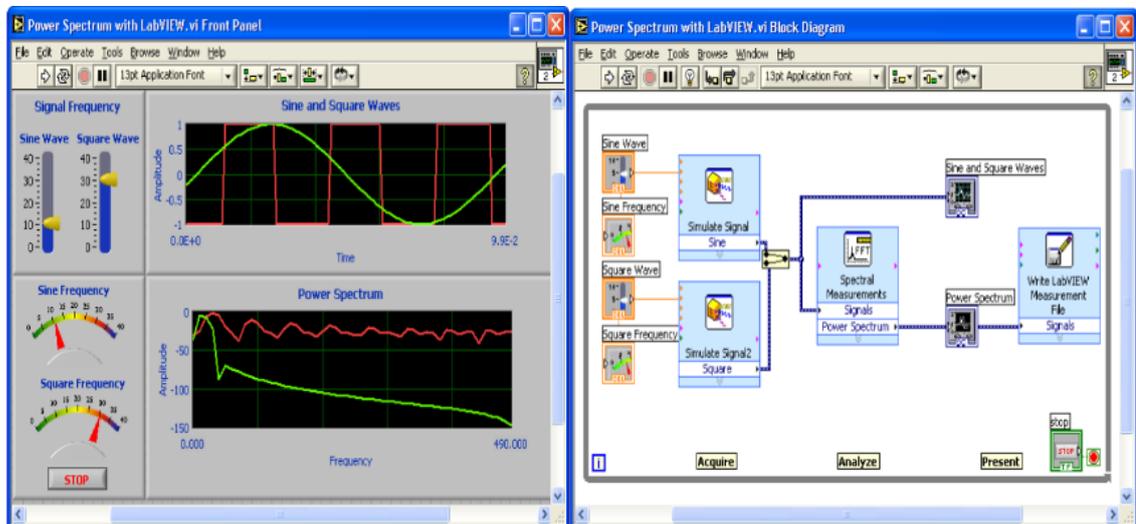
Fuente: Elaboración Propia

#### ANEXO 4 : “Paradero iluminado en Horas de la Noche”



Fuente: Elaboración Propia

#### ANEXO 5: “Toma de Datos y Verificación de Equipos”





Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO 6: "Características Técnicas de la Batería"

**Equipos fotovoltaicos**  
**Baterías solares**

**PowerSafe**

**Acumuladores solares**  
**POWERSAFE**

Baterías para sistemas solares – energía renovable  
Power Safe. Ya se trate de su residencia de fin de semana, de una autocaravana, de una embarcación, o de la fuente de alimentación móvil para su radio o TV, con un sistema de placas solares y una batería de Johnson Control, usted contará con una solución avanzada y económica para su necesidad de alimentación móvil, incluso por la noche o en días nublados tendrá la certeza de contar con una fuente de energía fiable.



**Baterías estacionarias VRLA**  
**PowerSafe**

Modelo	Tipo GEL AGM VRLA	AMPS hora Capacidad Ah @ 10 h	AMPS hora Capacidad Ah @ 8 h	VOLTS Tensión nominal Vn	Vida útil Ciclos 50% / Stand by use años	AMPS Corriente máxima Imax 5 s	PESO kg	TAMAÑO L * ancho * alt. en mm
12V30F	VRLA	31 Ah	31 Ah	12 V	> 12 a	A	10,8 kg	230*97*159 mm
12V38F	VRLA	38 Ah	38 Ah	12 V	> 12 a	A	12,5 kg	230*97*124 mm
12V62F	VRLA	62 Ah	62 Ah	12 V	> 12 a	A	19,7 kg	230*97*264 mm
12V92F	VRLA	92 Ah	92 Ah	12 V	> 12 a	A	28,0 kg	395*105*264 mm
12V105F	VRLA	105 Ah	107 Ah	12 V	> 12 a	A	46,0 kg	561*125*235 mm
12V125F	VRLA	125 Ah	126 Ah	12 V	> 12 a	A	56,0 kg	561*105*216 mm
12V155F	VRLA	150 Ah	155 Ah	12 V	> 12 a	A	57,7 kg	561*125*233 mm
12V165F	VRLA	165 Ah	165 Ah	12 V	> 12 a	A	67,0 kg	561*125*316 mm

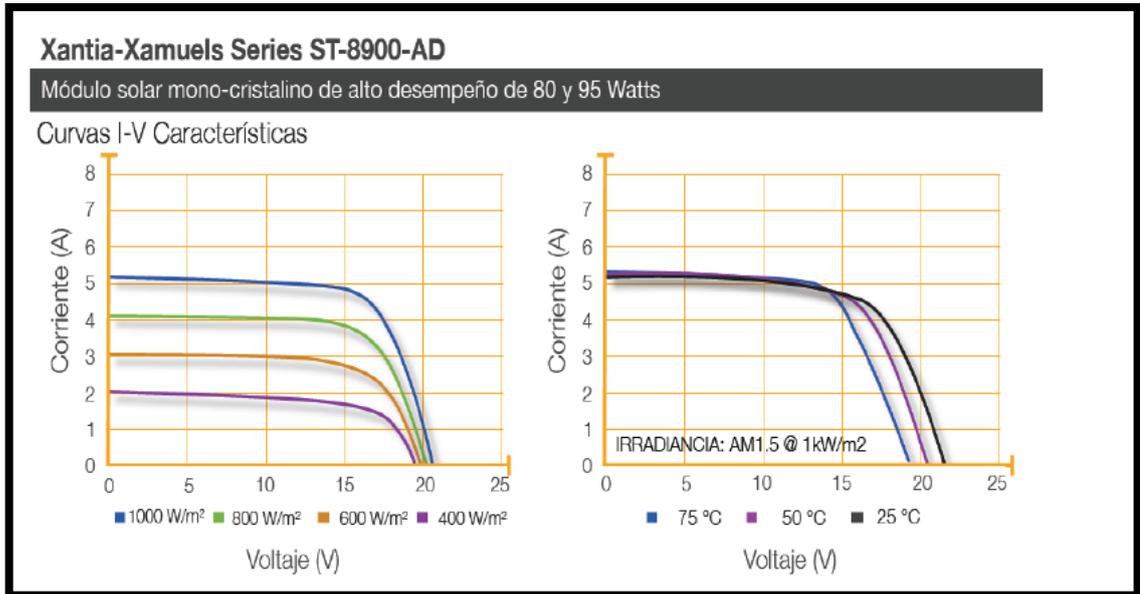
**ESPECIFICACIONES**

- \* Células cuadradas de silicio monocristalino.
- \* Células selladas químicamente y con capa antirreflexiva.
- \* Contactos redundantes, múltiples, en cada célula.
- \* Circuito laminado entre dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato).
- \* Marco de perfil de aluminio anodizado.
- \* Cara frontal protegida con vidrio templado de alta transmisividad.

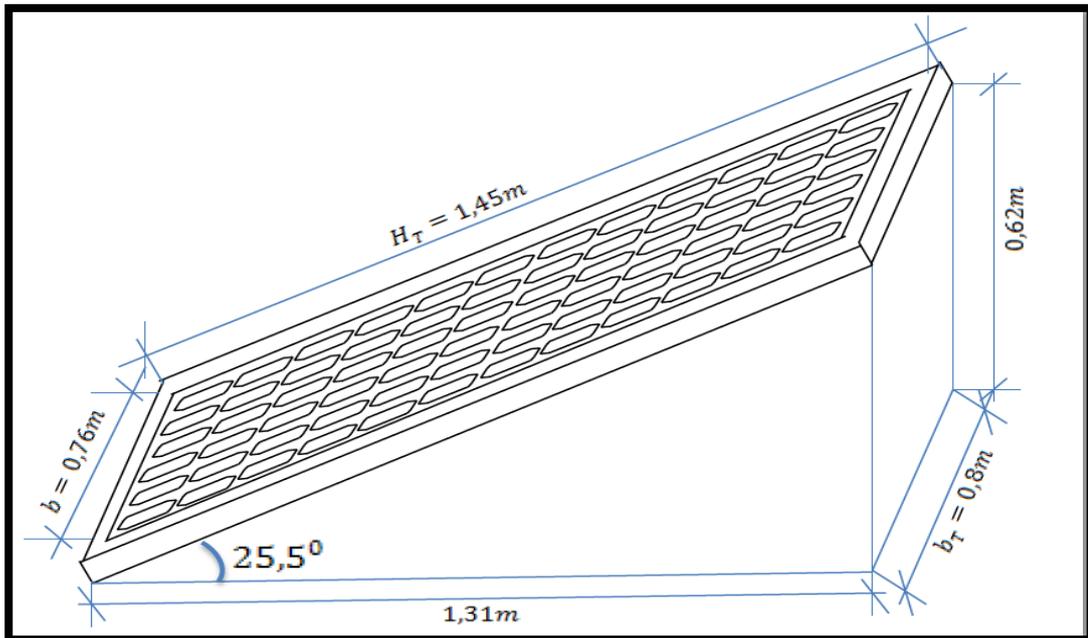
\* Los datos técnicos de los modelos pueden ser cambiados sin aviso.

- \* Cara posterior protegida con Tedlar de varias capas.
- \* Caja de conexión incluyendo diodo de bypass.
- \* Toma de tierra exterior.
- \* Diseñado y fabricado cumpliendo especificaciones ESTI 503, TUV, CEI IEC 1215, EN 61215.

## ANEXO 7: “Desempeño del Módulo Respecto a la Temperatura”



## ANEXO 8: “Angulo de Inclinación del Panel”



**ANEXO 9: (T): “Tamaño de Longitud de los cables según su Amperaje”**

CALIBRE AWG - MCM	SECCIÓN REAL (mm <sup>2</sup> )	INTENSIDAD ADMISIBLE (AMPERIOS)
14	2.081	30
12	3.309	40
10	5.261	55
8	8.366	70
6	13.3	100
4	21.15	130
3	26.67	150
2	33.63	175
1	42.41	205
1/0	53.48	235
2/0	67.43	275
3/0	85.03	320
4/0	107.2	370
250 MCM	126.77	410
300MCM	151	460

**ANEXO 10 :(T) “Datos Tecnicos de los Modulos Solares”**

<b>VOLTAJE</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>140</b>
<b>Marca</b>	<b>Sun Earth</b>	<b>Sun Earth</b>	<b>Ninfo</b>	<b>Ninfo</b>	<b>Sun Earth</b>	<b>Solar Land</b>	<b>Sun Earth</b>
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>							
Peso		6,4			8		
Número de células en serie		36			36		
Numero de células en paralelo		631x665x30mm		1.224x545x39.5	1,200x527x34		
TONC (800 W/m <sup>2</sup> , 20°C, AM 1.5, 1m/s)				36			
<b>ELÉCTRICAS (1.000 W/m<sup>2</sup>, 25°C célula, AM 1.5)</b>							
Tensión nominal (Vn)	12 V	<b>12 V</b>	<b>12 V</b>	12 V	12 V	12 V	12 V
Potencia máxima (Pmáx)	20 Wp	<b>50 Wp</b>	<b>55 wp</b>	85 Wp	90 Wp	120 Wp	140 Wp
Corriente de cortocircuito (Isc)	1,24	<b>3,24</b>	<b>3,4</b>	4,98	5,28	8,20	8.43
Tensión de circuito abierto (Voc)	21,8	<b>21,7</b>	<b>21,92</b>	22,3	22.30	21,7	22
Corriente de máxima potencia (Imáx)	1,14	<b>2,86</b>	<b>3,11</b>	4,65	4.98	7,80	8
Tensión de máxima potencia (Vmáx)	17,6	<b>17,5</b>	<b>17,64</b>	17,5	18.10	19,0	17.5

**ANEXO 11: (T) “Potencia Eléctrica de Artefactos Eléctricos”**

<b>TABLA DE POTENCIA ELECTRICA DE ARTEFACTOS ELECTRICOS</b>		
<b>Artefacto eléctrico que utiliza normalmente</b>	<b>Potencia</b>	
	<b>(Watts)</b>	<b>(kilowatts)</b>
Cocina eléctrica de 4 hornilla	4 500	4.5
Ducha eléctrica	3 500	3.5
Secadora de ropa	2 500	2.5
Aire acondicionado (10 000 BTU - 220 V)	1 800	1.8
Hervidor de agua (Jarra eléctrica)	1 500	1.5
Calentador de agua (terma eléctrica)	1 500	1.5
Aspiradora	1 300	1.3
Horno Eléctrico	1 200	1.2
Lavaplatos	1 200	1.2
Secadora de cabello	1 200	1.2
Blowers (secadora profesional)	1 200	1.2
Horno Microondas	1 200	1.2
Olla arrocera	1 000	1
Plancha eléctrica	1 000	1
Tostadora	1 000	1
Waflera	1 000	1
Fotocopiadora comercial	900	0.9
Bomba de piscina	800	0.8
Electrobomba de 1 HP	746	0.75
Cafetera	600	0.6
Taladro manual comercial (600 W)	600	0.6
Lavadora	500	0.5
Congeladora comercial	500	0.5
Ventilador de techo	500	0.5

Máquina de coser ropa (1/2 HP)	350	0.35
Refrigeradora(**)	350	0.35
Campana extractora de aire	300	0.3
Licuadaora	300	0.3
Lustradora	300	0.3
Congeladora residencial	250	0.25
Reflector (floodlight)	250	0.25
Computadora (cpu y monitor)	200	0.2
Batidora	200	0.2
TV de 21 pulgadas color	200	0.2
DVD (Video Digital)	200	0.2
Escáner (Digitalizador)	150	0.15
Fax	150	0.15
Impresora	150	0.15
Equipo de sonido (estéreo)	120	0.12
Foco incandescente de 100 W	100	0.1
TV de 21 pulgadas blanco y negro	100	0.1
VHS	100	0.1
VCR (Lectora Video)	100	0.1
Monitor Computadora	75	0.08
Extractor de jugo (exprimidor)	50	0.05
Fluorescente de 40 W	40	0.04
Fluorescente de 32 W	32	0.03
Modem ADSL (Internet)	30	0.03
Foco ahorrador 20 W	20	0.02
Radio Reloj	10	0.01
Timbre de pared con transformador	10	0.01

**ANEXO 12: (T) “Gastos en Recursos Humanos”**

<b>Nº</b>	<b>Oficio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>costo</b>
<b>1</b>	Soldador	<b>2</b>	<b>1500</b>
<b>2</b>	Electricista	<b>1</b>	<b>300</b>
<b>3</b>	Ayudante	<b>2</b>	<b>400</b>
<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>2200</b>

**ANEXO 13: (T) “Materiales”**

<b>Nº</b>	<b>Material</b>	<b>Cantid.</b>	<b>Costo unitario S/.</b>	<b>Costo final S/.</b>
<b>1</b>	Cemento	<b>30</b>	<b>25.00</b>	<b>750.00</b>
<b>2</b>	Fierro corrugado	<b>15</b>	<b>12.00</b>	<b>180.00</b>
<b>3</b>	Tubo rectángulo	<b>10</b>	<b>25.00</b>	<b>250.00</b>
<b>4</b>	Tubo cuadrado	<b>6</b>	<b>23.00</b>	<b>138.00</b>
<b>5</b>	Fierro ángulo	<b>8</b>	<b>18.00</b>	<b>144.00</b>
<b>6</b>	Fierro T	<b>5</b>	<b>21.00</b>	<b>105.00</b>
<b>7</b>	Tablones	<b>15</b>	<b>12.00</b>	<b>180.00</b>
<b>8</b>	cuartones	<b>10</b>	<b>8.00</b>	<b>80.00</b>
<b>9</b>	Plancha de fierro	<b>2</b>	<b>90.00</b>	<b>180.00</b>
<b>10</b>	Policarbonato	<b>2</b>	<b>400.00</b>	<b>800.00</b>
<b>11</b>	Alambre	<b>1</b>	<b>30.00</b>	<b>30.00</b>
<b>12</b>	Clavos	<b>1</b>	<b>10.00</b>	<b>10.00</b>
<b>13</b>	Pernos	<b>1</b>	<b>25.00</b>	<b>25.00</b>
<b>14</b>	Pintura	<b>2</b>	<b>50.00</b>	<b>50.00</b>
<b>15</b>	Ladrillos	<b>100</b>	<b>0.70</b>	<b>70.00</b>
<b>16</b>	Arena	<b>8</b>	<b>100.00</b>	<b>800.00</b>
<b>17</b>	vidrios	<b>3</b>	<b>120.00</b>	<b>360.00</b>
<b>18</b>	silicona	<b>10</b>	<b>7.00</b>	<b>70.00</b>
<b>19</b>	canaleta	<b>8</b>	<b>5.00</b>	<b>40.00</b>
<b>20</b>	soldadura	<b>15</b>	<b>14.00</b>	<b>210.00</b>
<b>TOTAL</b>				<b>4382.00</b>

**ANEXO 14: (T) “Presupuesto”**

Nº	Detalle del gasto - ITEMS	Cantidad	Monto (S/.)
1	Paneles solares	2	1800.00
2	Baterías	2	1600.00
3	Controlador de carga	1	350.00
4	Inversor de corriente	1	500.00
5	Reflectores	8	400.00
	TOTAL	-----	4650.00

#### ANEXO 15: (T) “Datos Analizados”

Nº	HORA	V_FIJO	I_FIJO	P_FIJO
1	06:00:25 a. m.	12.341	4.403	60.431
6	06:05:25 a. m.	12.535	4.97	62.146
11	06:10:25 a. m.	12.435	5.032	61.558
16	06:15:25 a. m.	13.48	4.96	66.909
21	06:20:25 a. m.	13.107	4.922	64.379
26	06:25:25 a. m.	13.166	4.98	65.557
31	06:30:25 a. m.	13.604	4.907	66.39
36	06:35:25 a. m.	13.442	5.085	67.925
41	06:40:25 a. m.	13.694	5.114	70.012
46	06:45:25 a. m.	13.521	5.832	78.677
51	06:50:25 a. m.	12.28	6.338	77.666
56	06:55:25 a. m.	12.84	6.271	80.347
61	07:00:25 a. m.	13.934	5.969	82.667
62	07:05:25 a. m.	14.465	5.605	80.78
63	07:10:25 a. m.	13.288	5.785	75.609
64	07:15:25 a. m.	13.49	5.666	76.428
65	07:20:25 a. m.	14.415	5.543	79.687
66	07:25:25 a. m.	14.033	5.401	75.459
67	07:30:25 a. m.	14.73	5.393	79.153
68	07:35:25 a. m.	13.322	6.167	82.186
69	07:40:25 a. m.	13.307	5.764	76.83
70	07:45:25 a. m.	14.08	5.445	76.634
71	07:50:25 a. m.	13.51	6.296	85.076

72	07:55:25 a. m.	13.715	5.832	79.956
73	08:00:25 a. m.	13.543	6.067	82.482
74	08:05:25 a. m.	15.017	6.011	90.084
75	08:10:25 a. m.	13.782	6.077	82.418
76	08:15:25 a. m.	13.353	6.246	83.451
77	08:20:25 a. m.	14.198	6.026	85.664
78	08:25:25 a. m.	14.456	6.068	87.963
79	08:30:25 a. m.	15.149	5.969	90.243
80	08:35:25 a. m.	12.924	6.684	86.429
81	08:40:25 a. m.	13.664	6.439	87.94
82	08:45:25 a. m.	13.798	6.393	88.237
83	08:50:25 a. m.	13.54	6.507	88.085
84	08:55:25 a. m.	13.159	6.883	90.675
85	09:00:25 a. m.	15.663	5.699	89.285
86	09:05:25 a. m.	14.976	6.281	94.062
87	09:10:25 a. m.	13.808	6.682	92.32
88	09:15:25 a. m.	14.423	6.34	91.526
89	09:20:25 a. m.	14.028	6.62	92.79
90	09:25:25 a. m.	14.926	6.305	93.589
91	09:30:25 a. m.	14.868	6.329	93.546
92	09:35:25 a. m.	14.347	6.437	92.172
93	09:40:25 a. m.	14.668	6.465	94.805
94	09:45:25 a. m.	13.704	7.104	97.372
95	09:50:25 a. m.	14.33	6.524	93.514
96	09:55:25 a. m.	14.102	6.884	96.079
97	10:00:25 a. m.	14.991	6.485	96.844
98	10:05:25 a. m.	13.295	7.371	98.007
99	10:10:25 a. m.	13.886	7.065	97.638
100	10:15:25 a. m.	14.802	6.59	97.584
101	10:20:25 a. m.	14.942	6.709	100.29
102	10:25:25 a. m.	15.231	6.445	97.952
103	10:30:25 a. m.	15.177	6.701	101.672
104	10:35:25 a. m.	14.677	6.795	99.754
105	10:40:25 a. m.	15.441	6.701	103.358

106	10:45:25 a. m.	15.839	6.397	100.744
107	10:50:25 a. m.	14.448	7.105	102.705
108	10:55:25 a. m.	15.926	6.598	104.878
109	11:00:25 a. m.	14.815	7.024	104.015
110	11:05:25 a. m.	15.969	6.611	105.065
111	11:10:25 a. m.	14.793	6.821	100.602
112	11:15:25 a. m.	14.465	7.097	102.599
113	11:20:25 a. m.	13.922	7.548	104.98
114	11:25:25 a. m.	14.749	6.949	102.374
115	11:30:25 a. m.	15.397	6.432	98.358
116	11:35:25 a. m.	15.329	7.006	107.48
117	11:40:25 a. m.	15.28	6.895	104.936
118	11:45:25 a. m.	15.106	7.1	106.745
119	11:50:25 a. m.	14.969	7.158	106.064
120	11:55:25 a. m.	15.15	6.872	104.112
121	12:00:25 p. m.	15.542	7.004	108.51
122	12:05:25 p. m.	13.923	7.814	108.7
123	12:10:25 P. m.	15.006	6.803	102.093
124	12:15:25 p. m.	14.689	7.053	103.535
125	12:20:25 P. m.	15.027	7.2341	108.217
126	12:25:25 p. m.	14.593	7.334	106.455
127	12:30:25 p. m.	16.439	6.229	102.035
128	12:35:25 p. m.	14.299	7.402	105.328
129	12:40:25 p. m.	15.359	6.597	106.208
130	12:45:25 p. m.	14.487	7.307	105.566
131	12:50:25 p. m.	15.51	7.232	111.848
132	12:55:25 p. m.	16.276	6.724	108.863
133	01:00:25 p. m.	16.946	6.349	110.073
134	01:05:25 p. m.	15.647	7.143	111.576
135	01:10:25 P. m.	14.89	7.31	108.705
136	01:15:25 p. m.	14.832	7.585	112.496
137	01:20:25 P. m.	15.521	7.378	114.548
138	01:25:25 p. m.	15.668	7.201	112.763
139	01:30:25 p. m.	15.129	7.495	113.43

140	01:35:25 p. m.	16.038	6.567	105.417
141	01:40:25 p. m.	15.804	7.136	112.536
142	01:45:25 p. m.	16.295	7.373	119.492
143	01:50:25 p. m.	15.331	7.592	116.225
144	01:55:25 p. m.	14.967	7.68	114.933
145	02:00:25 p. m.	15.561	7.467	115.607
146	02:05:25 p. m.	17.055	6.896	117.57
147	02:10:25 P. m.	16.091	7.1	114.117
148	02:15:25 p. m.	14.329	8.101	115.918
149	02:20:25 P. m.	16.026	7.385	118.362
150	02:25:25 p. m.	16.068	7.377	118.581
151	02:30:25 p. m.	15.902	7.575	120.105
152	02:35:25 p. m.	15.644	7.941	123.793
153	02:40:25 p. m.	15.354	7.85	120.036
154	02:45:25 p. m.	15.993	7.657	122.051
155	02:50:25 p. m.	15.852	7.621	120.749
156	02:55:25 p. m.	15.146	8.017	121.294
157	03:00:25 p. m.	15.701	7.663	120.31
158	03:05:25 p. m.	14.966	8.374	125.336
159	03:10:25 P. m.	14.748	8.135	119.433
160	03:15:25 p. m.	16.898	7.208	121.778
161	03:20:25 P. m.	14.987	8.334	124.59
162	03:25:25 p. m.	15.786	7.801	122.901
163	03:30:25 p. m.	15.609	7.687	119.936
164	03:35:25 p. m.	15.067	7.895	118.846
165	03:40:25 p. m.	15.531	7.977	123.525
166	03:45:25 p. m.	15.778	7.507	117.938
167	03:50:25 p. m.	15.255	8.298	125.905
168	03:55:25 p. m.	15.594	7.698	119.796
169	04:00:25 p. m.	16.066	7.713	123.979
170	04:05:25 p. m.	15.888	7.945	126.136
171	04:10:25 P. m.	15.457	8.244	127.533
172	04:15:25 p. m.	15.834	8.074	127.795
173	04:20:25 P. m.	15.393	8.266	127.575

174	04:25:25 p. m.	16.744	7.649	127.8
175	04:30:25 p. m.	16.063	7.95	127.962
176	04:35:25 p. m.	15.317	8.287	127.23
177	04:40:25 p. m.	16.197	8.032	130.149
178	04:45:25 p. m.	15.178	8.651	131.559
179	04:50:25 p. m.	15.413	8.198	126.389
180	04:55:25 p. m.	16.437	8.122	132.906
181	05:00:25 p. m.	15.417	8.274	127.593
182	05:05:25 p. m.	15.685	8.337	130.686
183	05:10:25 P. m.	16.335	8.05	131.407
184	05:15:25 p. m.	15.253	8.32	126.395
185	05:20:25 P. m.	16.41	8.078	132.174
186	05:25:25 p. m.	15.625	8.557	133.825
187	05:30:25 p. m.	17.412	7.816	135.527
188	05:35:25 p. m.	16.255	7.936	129.458
189	05:40:25 p. m.	15.503	8.423	130.172
190	05:45:25 p. m.	16.538	7.776	128.758
191	05:50:25 p. m.	15.509	8.802	136.853
192	05:55:25 p. m.	16.435	8.2	134.644