

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE  
UN PANEL FOTOVOLTAICO MARCA SUNBE SOLAR TIPO SLP  
60-12 DE 60 W BAJO LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE  
PUNO CON ÉNFASIS EN LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN  
SOLAR”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**  
**YHONSON KENNDY MAMANI MAMANI**  
**CRISTIAN OLIVER MAMANI YANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA

**“DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN  
PANEL FOTOVOLTAICO MARCA SUNBE SOLAR TIPO SLP 60-12 EN  
LA CIUDAD DE PUNO”**

TESIS PRESENTADA POR:

**YHONSON KENNDY MAMANI MAMANI  
CRISTIAN OLIVER MAMANI YANA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

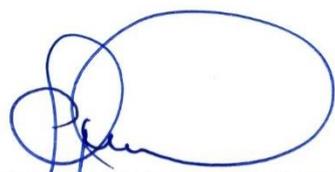
APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



**PRESIDENTE:**

  
Ing. LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ

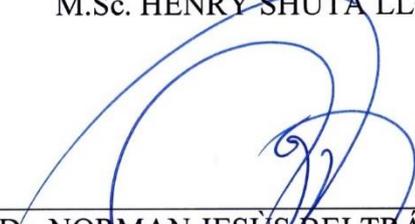
**PRIMER MIEMBRO:**

  
M.Sc. ROBERTO JAIME QUIROZ SOSA

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
M.Sc. HENRY SHUTA LLOCLLA

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
Dr. NORMAN JESUS BELTRÁN CASTAÑÓN

**TEMA :** Radiación solar y Eficiencia de un Panel Fotovoltaico.

**ÁREA :** Energías Renovables.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN 21 DE NOVIEMBRE DEL 2019**

## DEDICATORIA

*A DIOS por su inmenso amor y sabiduría los cuales me permitieron culminar satisfactoriamente el presente trabajo de investigación.*

*A mis queridos padres: ISMAEL y MARTA por brindarme amor, confianza y apoyo incondicional en cada momento de mi vida para lograr el éxito profesional.*

*Yhonson Kenndy MAMANI MAMANI*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios todopoderoso, quien es el creador de todas las cosas sobre el universo, por haberme brindado la fuerza y la capacidad necesaria para superar los obstáculos encontrados a lo largo de mi vida.*

*Quiero dar gracias a mis queridos hermanos, Edwar Edson y Dante Ismael, quienes me apoyaron en todo momento y siempre como una familia unida.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, A la FIMEES y a la Escuela Profesional de Ing. Mecánica Eléctrica, mi profundo agradecimiento por habernos permitido la oportunidad de formarse profesionalmente.*

*A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ing. Mecánica Eléctrica por contribuir en mi formación profesional.*

*A todas las personas quienes de una u otra manera fueron parte de esta etapa de mi vida, gracias por su ayuda.*

*Yhonson Kenndy MAMANI MAMANI*

## DEDICATORIA

*A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio e investigación.*

*A mis padres Pedro Mamani Pari, Dominga Yana Quispe y hermanos por estar a mi lado aconsejándome a través de sus enseñanzas, su apoyo incondicional y su paciencia en todo momento para continuar mi formación como mecánico electricista.*

*Cristian Oliver MAMANI YANA*

## AGRADECIMIENTO

*Le doy gracias a mis padres Pedro Mamani Pari, Dominga Yana Quispe por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de la vida.*

*A mis hermanas por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. Por llenar a mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.*

*A mis Docentes y Compañeros de la Universidad Nacional del Altiplano por impartir sus conocimientos durante la realización de la presente tesis.*

*Cristian Oliver MAMANI YANA*

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	12
RESUMEN .....	13
ABSTRACT.....	14

### CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	19
1.3. HIPÓTESIS .....	20
1.3.1. Hipótesis General.....	20
1.3.2. Hipótesis Específicas .....	20
1.4. OBJETIVOS .....	20
1.4.1. Objetivo General.....	20
1.4.2. Objetivos Específicos.....	20

### CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	22
2.2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	23
2.2.1. Energía Solar .....	23
2.2.1.1. Radiación Directa .....	24
2.2.1.2. Radiación Difusa .....	24
2.2.1.3. Irradiación .....	26
2.2.1.4. Insolación.....	27
2.2.2. Celda Fotovoltaica .....	29

2.2.2.1. Dopado del Silicio y la Unión P-N.....	31
2.2.2.2. Generaciones de Celdas Fotovoltaicas .....	33
2.2.2.3. Tecnologías de Fabricación de celdas fotovoltaicas.....	34
2.2.2.4. Funcionamiento de un Panel Fotovoltaico.....	39
2.2.2.5. Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico .....	43
2.2.2.6. Factores que afectan el rendimiento de un Panel Fotovoltaico.....	46
2.2.2.7. Aplicaciones de los Paneles Fotovoltaicos .....	48
2.2.2.8. Clasificaciones de las Instalaciones Fotovoltaicas .....	51
2.2.2.9. Equipos Necesarios para una Instalación Fotovoltaica .....	56
2.2.2.10. Posicionamiento y orientación de los PFV y condiciones óptimas para un mejor aprovechamiento de la Energía Solar .....	57

### CAPÍTULO III.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES .....	63
3.1.1. Condiciones Ambientales.....	63
3.1.1.1. Barómetro de Sifón.....	63
3.1.1.2. Psicrómetro .....	64
3.1.1.3. Anemómetro.....	65
3.1.2. Sistema de Energía Solar Fotovoltaico .....	66
3.1.2.1. Panel Fotovoltaico SLP 60-12" .....	66
3.1.2.2. Controlador de Carga Solar.....	68
3.1.2.3. Convertidor CD/CD “Plus”.....	69
3.1.2.4. Inversor de 12V (CC) – 220V (AC) .....	69
3.1.2.5. Batería Plomo – ácido.....	70
3.1.3. Piranómetro .....	71
3.1.4. Multímetro.....	72
3.2. MÉTODOS .....	72

3.2.1. Metodología para determinar la inclinación y orientación del panel fotovoltaico.....	72
3.2.2. Metodología para determinar el polo norte geográfico.....	74
3.2.3. Metodología para medir la radiación solar que incide sobre el panel fotovoltaico.....	76
3.2.4. Metodología para determinar las características eléctricas en el panel fotovoltaico.....	76
3.2.4.1. Corriente de Cortocircuito ( $I_{SC}$ ) .....	77
3.2.4.2. Tensión en circuito abierto ( $V_{OC}$ ).....	78
3.2.4.3. Potencia máxima o de pico ( $P_{m\acute{a}x}$ ) .....	78
3.2.4.4. Corriente nominal de la Célula.....	79
3.2.4.5. Tensión nominal de la célula.....	79
3.2.4.6. Potencia nominal de pico ( $W_P$ ) .....	79
3.2.4.7. Factor de forma (FF).....	79
3.2.4.8. Eficiencia ( $\eta$ ).....	80

#### CAPÍTULO IV.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE LA INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO.....	81
4.1.1. Ángulo de Inclinación.....	81
4.1.2. Orientación .....	82
4.2. MEDICIÓN DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN PUNO.....	84
4.3. DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR CONSIDERANDO LA ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO .....	87
4.4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PANEL FOTOVOLTAICO....	94
4.4.1. Cálculo de Potencia de la radiación solar ( $P_{solar}$ ).....	94
4.4.2. Cálculo de la potencia generada en el panel fotovoltaico ( $P_{fotovoltaica}$ ) .....	95
4.4.3. Cálculo de la eficiencia del panel fotovoltaico.....	98



4.4.4. Discusión.....	101
CONCLUSIONES .....	103
RECOMENDACIONES .....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	108
ANEXOS .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Espectro Solar .....	27
2.2. Curva de Irradiación Diaria y horas solares pico .....	28
2.3. Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año .....	29
2.4. Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar .....	30
2.5. Celda Fotovoltaica de Silicio Policristalino .....	30
2.6. Dopado del Silicio.....	32
2.7. Barra de Silicio Policristalino .....	32
2.8. Panel Solar de Silicio Monocristalino .....	35
2.9. Panel Solar de Silicio Policristalino .....	36
2.10. Celda Fotovoltaica Orgánica .....	38
2.11. Láminas Fotovoltaicas de Película Delgada (thin-film).....	39
2.12. Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotones.....	40
2.13. Esquema de Funcionamiento de un Panel solar.....	41
2.14. Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m <sup>2</sup> y 25°C .....	42
2.15. Factor de Forma (FF) .....	44
2.16. Efectos de los niveles de radiación sobre la corriente.....	46
2.17. Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar .....	48
2.18. Conjunto de paneles solares, Expo 2005 Aichi Japan, Japón.....	50
2.19. Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red Eléctrica.....	52
2.20. Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red Eléctrica .....	53
2.21. Huerta Solar .....	55
2.22. Instalación Híbrida Solar-Eólica.....	55
2.23. Masa de Aire entre el Sol y la Superficie Captadora .....	60
2.24. Representación del Cenit y Nadir .....	61
2.25. Ángulos de Inclinación ( $\beta$ ) y Acimut ( $\alpha$ ).....	62

3.1. Barómetro de sifón.....	64
3.2. Psicrómetro.....	65
3.3. Anemómetro.....	66
3.4. Sistema de panel fotovoltaico.....	70
3.5. Piranómetro digital.....	71
3.6. Multímetro.....	72
3.7. Acimut.....	73
3.8. Inclinación.....	74
3.9. Curva característica tensión-intensidad de un módulo fotovoltaico.....	77
3.10. Medición de al Corriente de Cortocircuito (ISC).....	78
4.1. Proyección de la sombra de la varilla para ubicar el punto A.....	83
4.2. Trazado del círculo con el radio determinado por A.....	83
4.3. Determinación experimental del norte geográfico.....	84
4.4. Orientación e inclinación del panel fotovoltaico.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Placa de datos entregada por fabricante de un panel Solarex VLX-53 .....	42
2.2. Límites aceptables por pérdidas por efecto de la sombra, orientación e inclinación.....	47
2.3. Radiación Solar en el Perú.....	58
3.1. Procedimiento para determinar el polo norte geográfico .....	75
4.1. Parámetros meteorológicos en Puno – diciembre 2018.....	85
4.2. Parámetros meteorológicos en Puno – diciembre 2018.....	86
4.3. Cálculo de la radiación solar para el día 12/12/2018 a las 10:30 AM.....	89
4.4. Cálculo de la radiación solar para el día 13/12/2018 a las 10:30 AM.....	90
4.5. Cálculo de la radiación solar para el día 19/12/2018 a las 10:30 AM.....	91
4.6. Cálculo de la radiación solar para el día 20/12/2018 a las 10:30 AM.....	92
4.7. Cálculo de las radiaciones solares considerando la inclinación y orientación del panel fotovoltaico.....	93
4.8. Cálculos de las potencias solares.....	95
4.9. Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 12/12/2018.....	96
4.10. Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 13/12/2018.....	96
4.11. Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 19/12/2018.....	97
4.12. Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 20/12/2018.....	97
4.13. Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 12/12/2018 .....	98
4.14. Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 13/12/2018 .....	99
4.15. Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 19/12/2018 .....	99
4.16. Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 20/12/2018 .....	100

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

---

INGENIERÍA	
Acrónimo	Significado
PFV	: Panel solar fotovoltaico.
CC	: Corriente continua.
CA	: Corriente alterna.
AM	: Masa de aire.
FF	: Factor de forma.
w/m <sup>2</sup>	: Unidad de medida de irradiación.
P <sub>max</sub>	: Potencia máxima o de pico.
I <sub>sc</sub>	: Corriente de corto circuito.
V <sub>oc</sub>	: Voltaje de circuito abierto.
P <sub>mp</sub>	: Punto de máxima potencia.
A	: Área o superficie.
E	: Radiación solar.
$\eta$	: Eficiencia de un panel fotovoltaico.

---

## RESUMEN

La energía solar fotovoltaica es una excelente alternativa para suplir el aumento de la demanda energética actual en nuestra región de Puno, ya que se tiene una ventaja competitiva de disponibilidad de recurso solar inagotable y, la producción de energía no genera grandes impactos ambientales en comparación a las fuentes convencionales que utilizan recursos fósiles. El desarrollo de la investigación se realizó durante cuatro días del mes de diciembre del 2018 y cuyo objetivo fue la determinación experimental de la eficiencia de un panel fotovoltaico de 60 W en la ciudad de Puno, que es afectada principalmente por aspectos ambientales y tecnologías utilizadas en su fabricación. El método empleado para determinar la eficiencia es el método de conversión de energía, que consiste en determinar qué porcentaje de la radiación solar incidente en el panel es convertida en energía eléctrica fotovoltaica. La radiación solar se midió cada 30 minutos desde las 10:30 AM hasta las 3:00 PM cada día con una estación meteorológica automática, los cuales fueron recalculados a su vez computacionalmente con un software considerando una inclinación de  $16^\circ$  coincidente con la latitud de Puno y la orientación del panel al norte geográfico para lo cual se determinó su variación con respecto al norte magnético de  $5^\circ$  grados puesto que la óptima instalación del panel, juega un papel importante, ya que mejora la eficiencia del mismo. Los resultados obtenidos de las eficiencias del panel fotovoltaico de los cuatro días considerados, varía entre 11,43 – 12,80% con un promedio de 12,10%, respecto a la eficiencia de 15% de las especificaciones técnicas del panel, pero a condiciones estándar de  $1000 \text{ W/m}^2$  de  $25^\circ\text{C}$ . Concluyéndose que la eficiencia del panel fotovoltaico es aceptable con respecto a la eficiencia especificada en sus características técnicas, lo cual se debe a las condiciones meteorológicas particulares de Puno a una altitud de 3827 metros sobre el nivel del mar que implican los efectos del nivel de radiación y la temperatura ambiente, variaciones climáticas que son factores externos que inciden en la eficiencia.

**Palabras clave:** Panel fotovoltaico, radiación solar, latitud, ángulo de inclinación, eficiencia.

## ABSTRACT

The solar photovoltaic energy is an excellent alternative to replace the increase of the energy current demand in our region of Puno, since one has a competitive advantage of readiness of solar inexhaustible resource and, the energy production doesn't generate environmental big impacts in comparison to the conventional sources that use fossil resources. The development of the investigation was carried out during four days of the month of December of the 2018 and whose objective was the experimental determination of the efficiency of a photovoltaic panel of 60 W in the city of Puno that is affected mainly by environmental aspects and technologies used in its production. The method used to determine the efficiency is the method of energy conversion that consists on determining what percentage of the solar incident radiation in the panel it is transformed into photovoltaic electric power. The solar radiation was measured every 30 minutes from those 10:30 AM until those 3:00 PM every day with a meteorological automatic station, which were recalculates in turn computationally with a software considering a coincident inclination of  $16^\circ$  with the latitude of Puno and the orientation from the panel to the geographical north for that which their variation was determined with regard to the magnetic north of  $5^\circ$  grades since the good installation of the panel, plays an important role, since improvement the efficiency of the same one. The obtained results of the efficiencies of the photovoltaic panel of the four considered days, it varies among 11,43. 12,80% with an average of 12,10%, regarding the efficiency of 15% of the technical specifications of the panel but to standard conditions of  $1000 \text{ W/m}^2$   $25^\circ\text{C}$ . Being concluded that the efficiency of the photovoltaic panel is acceptable with regard to the efficiency specified in its technical characteristics, that which is due to the meteorological conditions peculiar of Puno to an altitude of 3827 meters on the sea level that you/they imply the effects of the radiation level and the ambient temperature, climatic variations that are external factors that impact in the efficiency.

**Key words:** Photovoltaic panel, solar radiation, latitude, angle of inclination, efficiency.

## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN

En la coyuntura actual el problema de recalentamiento global de la tierra ha impulsado el uso y aplicación de las energías renovables no convencionales, entre ellas la energía solar a través de la aplicación de los paneles fotovoltaicos. La generación fotovoltaica es un recurso que además de ser limpio es inagotable y, Puno es uno de los departamentos con mayor radiación solar en el Perú y ésta ventaja competitiva debe ser utilizada para dar soluciones energéticas para las zonas no interconectadas al sistema eléctrico; que son las viviendas rurales no solo de la región Puno sino de las otras regiones del país. Lo cual es factible considerando que el gobierno a través del Ministerio de energía está promoviendo el desarrollo de las energías renovables no convencionales como la solar y la eólica en proyectos de energización rural sostenible departamentales y regionales.

El trabajo desarrollado en el proyecto de investigación tiene como objetivo determinar experimentalmente la eficiencia de un panel fotovoltaico marca SUNBE SOLAR tipo SLP 60-12 de 60W bajo las condiciones ambientales de Puno.

En la caracterización de la radiación incidente sobre el panel fotovoltaico se considerarán los aspectos fundamentales de la inclinación y orientación del panel utilizando un software computacional.

Un panel fotovoltaico es un conjunto interconectado de celdas solares y es el componente básico de un sistema fotovoltaico. Un panel fotovoltaico se compone de una parte frontal transparente con un perfil de goma, un vidrio frontal, un material de

incrustamiento encapsulado, celdas solares y lámina posterior. Está enmarcado con un marco de aluminio anodizado.

El rendimiento de un panel fotovoltaico es generalmente medido en condiciones estándar de ensayo (Standard Test Conditions): radiación de  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , incidencia normal, distribución espectral AM1.5 y temperatura de la célula a  $25^\circ\text{C}$ .

La medida más importante es la eficiencia del panel fotovoltaico, o qué porcentaje de la energía de la radiación solar que incide en el panel se convierte en electricidad. La eficiencia de la celda solar no es igual a la eficiencia del panel. La eficiencia del panel es generalmente de 1 a 3% inferior a la eficiencia de las celdas solares debido a la reflexión del vidrio, marco de sombra, las temperaturas más altas, etc.

En las zonas alto andinas del sur del Perú, especialmente en zonas rurales aisladas, existe poca accesibilidad a la electricidad, por lo que la energía fotovoltaica representaría una opción económicamente rentable, debido a que es renovable, inagotable y limpia, debido a que en la actualidad los costos de los módulos fotovoltaicos están disminuyendo, posibilitando su adquisición y uso, por ello en esta investigación se evaluaron los parámetros que determinarán una mayor eficiencia de los paneles fotovoltaicos para las condiciones ambientales de Puno.

A continuación, se dará a conocer brevemente el desarrollo de cada capítulo

En el capítulo I se establece la introducción, el planteamiento del problema, la justificación del problema, la hipótesis general, hipótesis específicas, los objetivos generales y específicos.

En el capítulo II se efectúa las bases en las que se fundamenta el estudio realizado, los conceptos desarrollados servirán para el mejor entendimiento de la presente tesis,

para lo cual se desarrollarán los temas de radiación solar, funcionamiento, comportamiento eléctrico, posicionamiento y orientación de los PFV, eficiencia y factores que afectan el rendimiento de un panel fotovoltaico.

En el capítulo III se indica los materiales empleados en el desarrollo del proyecto, metodología para medir la radiación solar, determinar el polo norte geográfico, características eléctricas del panel fotovoltaico, determinar la inclinación y orientación del panel fotovoltaico para el mejor aprovechamiento de la energía solar.

En el capítulo IV se plasma la inclinación y orientación del panel fotovoltaico, medición de los parámetros meteorológicos en puno. Datos obtenidos como radiación solar, potencia de la radiación solar, eficiencia, potencia generada en el panel fotovoltaico y discusión.

En el capítulo V se hace las conclusiones de acuerdo a los objetivos trazados para la siguiente tesis.

En el capítulo VI se hace recomendaciones para posteriores trabajos de investigación experimental.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En la actualidad el aumento de la población y la enorme dependencia por los combustibles fósiles, cada día en constante aumento de precio, han hecho que la generación de la energía sea uno de los principales problemas a resolver; más aún el problema de la contaminación ambiental y el recalentamiento de la tierra que en la actualidad han provocado el cambio climático en el mundo; estos problemas hacen imperiosa la necesidad de dedicar recursos económicos para la investigación en energías alternativas como la energía solar que es inagotable y limpia. Estos son algunos

impactos ambientales en el sector hidroeléctrico: Alteración de los ecosistemas terrestres y de la biodiversidad, alteración de los ecosistemas acuáticos y biodiversidad, e impactos en la pesca, cambios en el régimen del río, alteración de ciclos naturales de crecidas, alteración de paisaje, impactos socioeconómicos y arqueológicos, impactos en comunidades indígenas, etc.

Considerando que el desarrollo de la tecnología solar de los paneles fotovoltaicos pueden y están solucionando los problemas de accesibilidad a la electricidad en las zonas alto andinas del sur del Perú, en diversas aplicaciones como el bombeo de agua subterránea y así poder llevar a cabo una segunda campaña agrícola de cultivos transitorios por secano tales como el maíz, trigo, papa, haba; esto aparte del alumbrado de viviendas y funcionamiento de equipos eléctricos que ayuden a elevar la calidad de vida de poblador del Ande. En esta perspectiva el funcionamiento de un panel fotovoltaico en los países donde se fabrican generalmente se evalúan e investigan al nivel del mar y, lógicamente su funcionamiento a una altitud de 3827 metros sobre el nivel del mar será afectado por las condiciones ambientales y, su eficiencia mostrará variación como ocurre con otras máquinas o dispositivos; considerando que no existen investigaciones ni informaciones técnicas al respecto, lo cual es fundamental para la selección óptima de la potencia necesaria de un panel fotovoltaico para una aplicación determinada; en ese marco de referencia para dar solución al problema de investigación, nos formulamos las siguientes preguntas:

¿Es posible caracterizar las condiciones ambientales de Puno para el funcionamiento de un panel fotovoltaico?

¿Es posible determinar experimentalmente la eficiencia de un panel fotovoltaico marca SUNBE SOLAR tipo SLP 60-12 de 60W en Puno?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el campo de las fuentes renovables de energía ha cobrado importancia para el desarrollo sustentable. La energía solar se presenta como una alternativa eficiente y económica, en comparación con otras formas tradicionales, para la generación de energía eléctrica; lo expuesto ha aumentado la necesidad de un mayor aprovechamiento de la energía solar, considerando que la cantidad de energía solar recibida anualmente por la tierra, representa diez mil veces el consumo del planeta en ese mismo periodo de tiempo. Los sistemas de generación de energía por medio de paneles fotovoltaicos, tienen el potencial para generar una porción significativa de la energía mundial.

La determinación experimental de la eficiencia de un panel fotovoltaico como proyecto de investigación de tesis se justifica por lo expuesto anteriormente y por la necesidad de incursionar en los temas de energías renovables, específicamente de la energía solar como línea de investigación en nuestra Escuela Profesional, considerando la ventaja competitiva que tiene Puno, de ser uno de tres departamentos con mayor radiación solar junto con Arequipa y Cajamarca.

La justificación académica y científica de la investigación es relevante, porque la eficiencia de los paneles fotovoltaicos declarados por los fabricantes lo hacen en condiciones estándar, con una radiación solar de 1000 W por cada metro cuadrado de superficie y a una temperatura de referencia de 25°C, parámetros de funcionamiento que no son con las que funciona un panel fotovoltaico en Puno.

La eficiencia real de un sistema fotovoltaico depende de un gran número de variables ambientales técnicas y de posicionamiento como la altitud y latitud de instalación, la inclinación, orientación, temperatura y limpieza de los paneles

fotovoltaicos; variables que determinarán la producción de energía eléctrica y analizar el costo-beneficio del sistema respecto a otros sistemas de producción de energía.

### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis General**

Para las condiciones ambientales de Puno, determinaremos la eficiencia de un panel fotovoltaico marca SUNBE SOLAR tipo SLP 60-12.

#### **1.3.2. Hipótesis Específicas**

- Es posible implementar un sistema de medición de parámetros ambientales y eléctricos en el panel fotovoltaico.
- Es posible determinar experimentalmente la energía disponible en el panel fotovoltaico.
- Es posible determinar experimentalmente la eficiencia del panel fotovoltaico.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar experimentalmente la eficiencia de un panel fotovoltaico marca SUNBE SOLAR tipo SLP 60-12 en la ciudad de Puno.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar un sistema de medición de parámetros ambientales y eléctricos en el panel fotovoltaico.
- Determinar y calcular experimentalmente el potencial de energía disponible en el sistema del panel fotovoltaico.

- Determinar experimentalmente la eficiencia del panel fotovoltaico en la ciudad de Puno.

## CAPÍTULO II.

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

**Pérez, D. (2009).** Análisis de un sistema de iluminación alimentado por paneles fotovoltaicos. Tesis desarrollada en la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Austral de Chile, en la cual, en el contexto de la mejor utilización de los recursos energéticos existentes, mediante la aplicación de políticas de eficiencia energética, establece que los sistemas fotovoltaicos, han permitido disminuir la demanda de energía eléctrica de la red de distribución. Se realiza en la tesis el diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda, la cual será iluminada con ampollas Led.

**Valdiviezo, P. (2014).** Diseño de un Sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. Tesis desarrollada en la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la Pontificia Universidad Católica del Perú. El principal objetivo de la tesis es fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer a 15 computadoras portátiles en la PUCP. Se dimensiona la cantidad de baterías, paneles fotovoltaicos, inversores y controladores a emplear y se estima el costo económico del proyecto.

**Cepeda, Juan & Sierra, A. (2014).** Aspecto que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. Artículo científico de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás de Bogotá, Colombia. El resumen manifiesta que la energía solar fotovoltaica se muestra como una buena alternativa para suplir el aumento de la demanda energética actual y cuya producción de energía

eléctrica no genera grandes impactos ambientales en comparación a las fuentes convencionales que utilizan recursos fósiles. Como objetivo se analizan los factores que afectan la eficiencia de un panel solar fotovoltaico y determinar los avances científicos que se han propuesto para reducir estos factores. La eficiencia y potencia entregada por un panel fotovoltaico son afectados por aspectos ambientales y tecnología utilizados en su proceso de fabricación.

## **2.2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.2.1. Energía Solar**

El sol representa la mayor fuente de energía existente en nuestro planeta. La cantidad de energía emitida y que llega a la tierra en forma de radiación. La energía es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, ésta energía la podemos percibir en forma de luz y calor. Cerca del 70% de la energía solar recibida por la tierra es absorbida por la atmósfera, la tierra y por los océanos, mientras que el 30% restante es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio.

La energía solar cumple un rol fundamental en nuestras vidas, esto porque sin ella sería imposible. La energía absorbida por la atmósfera, la tierra y los océanos permite una serie de procesos naturales, como por ejemplo mantener una temperatura promedio, la evaporación, que permite la generación de precipitaciones, movimiento de masas de aire, fotosíntesis, generación de biomasa, etc.

Por otro lado, la energía solar es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia y sustentable en el tiempo. Producto de la sobreexplotación de recursos no renovables y los efectos generados por su consumo, se puede percibir una creciente

conciencia social y de los gobiernos, de sacar provecho de este tipo de energías. Esto es posible de ver por la mayor cantidad de sistemas de generación en base a energías renovables instalados y en proceso de instalación en nuestro, los cuales son utilizados como sistema auxiliar o principal, dependiendo de la ubicación y recursos de quien los utilice.

La demanda de energía eléctrica cada vez mayor en nuestro país y la necesidad de diversificar la matriz energética del Perú.

Ahora bien, la potencia de la radiación depende del momento del día, las condiciones atmosféricas y la ubicación. Bajo condiciones óptimas se puede asumir un valor aproximado de irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$  en la superficie terrestre. Esta radiación puede llegar a la tierra en forma directa o difusa.

#### **2.2.1.1. Radiación Directa**

Es aquella que llega directamente del Sol hasta algún objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido. Este tipo de radiación puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Además, se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos que se interponen en su trayecto.

#### **2.2.1.2. Radiación Difusa**

Corresponde a la radiación emitida por el sol y que sufre alteraciones en su recorrido desde que ingresa a la atmosfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, etc., o absorbida por las nubes. Producto de las constantes reflexiones va perdiendo energía. No proyecta sombra de los objetos que se interponen en su recorrido. Las superficies horizontales son las que más radiación

difusa reciben, ya que ven pueden ver el cielo en todas las direcciones, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. En un día despejado, la radiación directa es mucho mayor que la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación incidente corresponde a radiación difusa.

La irradiancia directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor promedio de  $1354 \text{ W/m}^2$ , el valor máximo se encuentra en el perihelio (lugar donde un planeta se encuentra más cercano al sol) y corresponde a  $1395 \text{ W/m}^2$ , mientras que el valor mínimo se encuentra en el afelio (lugar donde un planeta se encuentra más lejano al sol) y es de  $1308 \text{ W/m}^2$ .

Existen distintos tipos de tecnologías que permiten utilizar la energía proveniente del sol, los cuales se nombran a continuación:

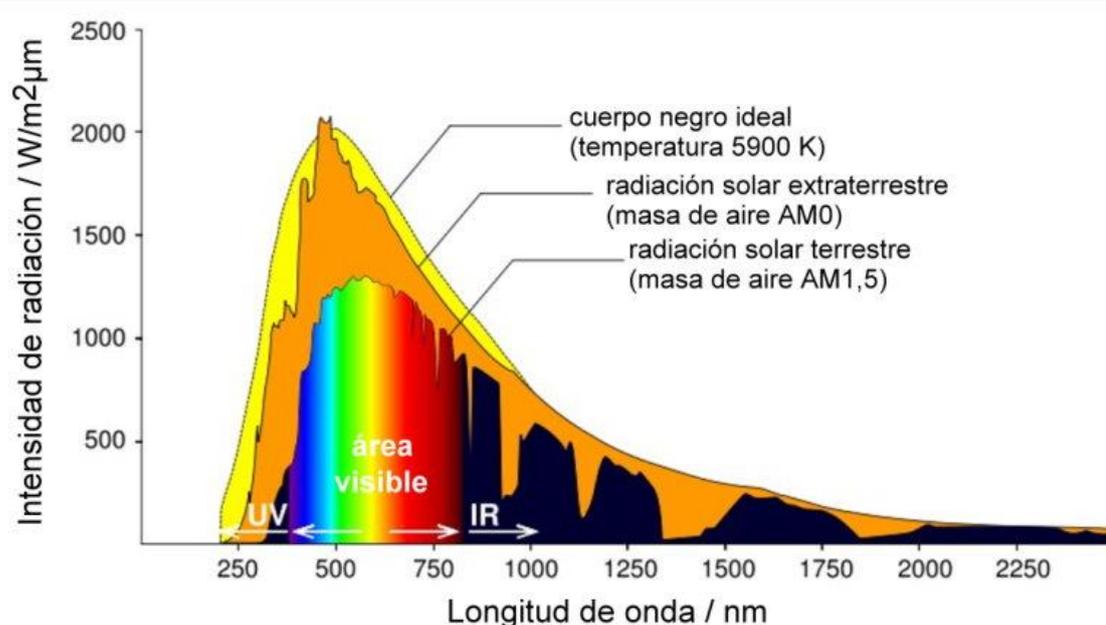
- **Energía solar pasiva:** aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- **Energía solar térmica:** aprovecha la energía calórica del sol para calentar algún tipo de fluido a baja temperatura, normalmente agua, para uso sanitario y calefacción, los sistemas utilizados para esto se denominan colectores solares.
- **Energía solar fotovoltaica:** aprovecha la energía lumínica del sol para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar, estos sistemas se llaman Paneles Solares Fotovoltaicos (PFV).

- **Energía solar termoeléctrica:** aprovecha la energía calórica para producir electricidad, esto se logra a través de un ciclo termodinámico convencional, mediante el cual se calienta algún tipo de fluido a alta temperatura (aceite térmico).
- **Energía solar híbrida:** consiste en utilizar además de la energía solar, otro tipo de energía. Esto se conoce como hibridación y dependiendo con el tipo de energía que se combine será:
  - **Renovable:** biomasa, energía eólica.
  - **Fósil.**
- **Energía eólico solar:** consiste en utilizar el aire calentado por el sol, para hacer girar unos generadores ubicados en la parte superior de una chimenea.

### 2.2.1.3. Irradiación

Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es  $W/m^2$ .

En la Figura 2.1 se puede apreciar el espectro de radiación solar para niveles sobre la atmósfera terrestre y a nivel del mar.

**Figura 2.1.** Espectro Solar

Fuente: Lorenzo, E. (2007). Electricidad Solar: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos. Sevilla. Editorial PROGENSA.

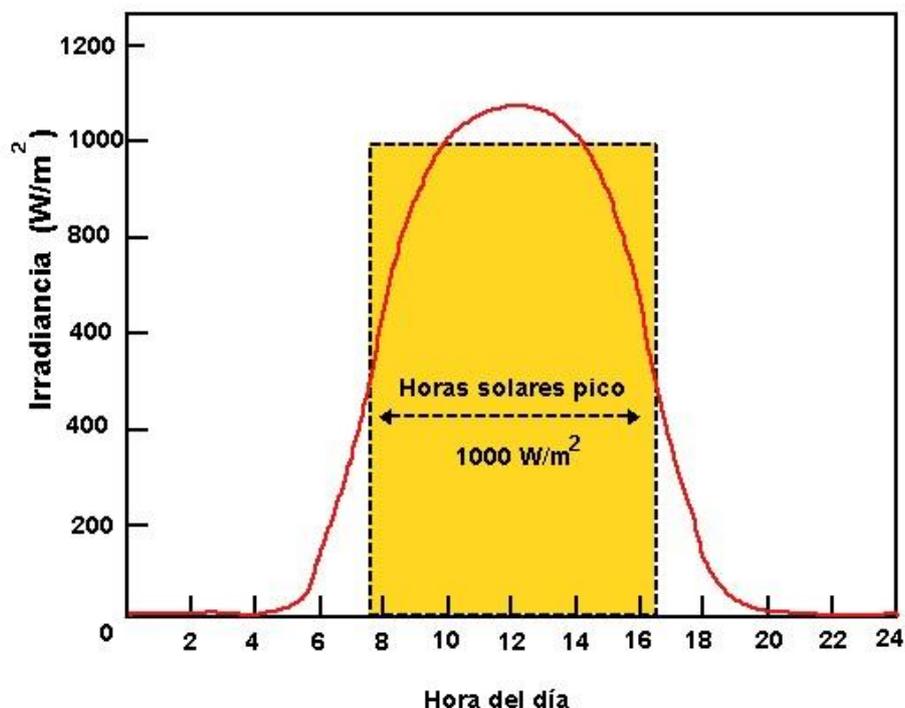
#### 2.2.1.4. Insolación

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diaria) o en un año (insolación anual). En otras palabras, es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado ( $W \cdot h/m^2$ ). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de  $1.000 W/m^2$ . La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente.

Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diaria o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. En la Figura 2.2 se

muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla de la figura.

**Figura 2.2.** Curva de Irradiación Diaria y horas solares pico



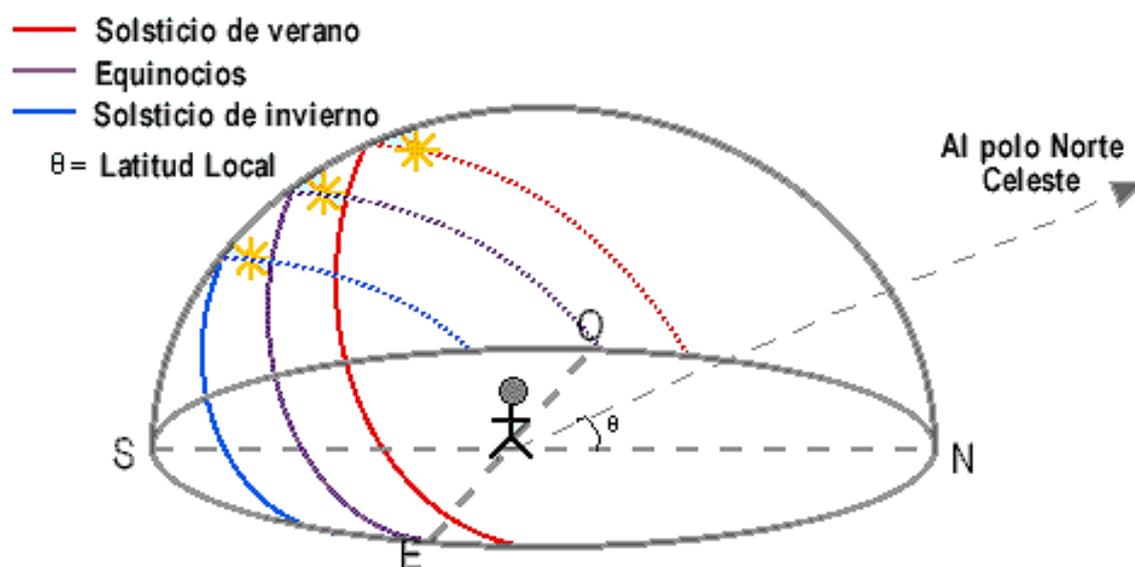
Fuente: Lorenzo, E. (2007). Electricidad Solar: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos. Sevilla. Editorial PROGENSA.

La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15°.

Debido a que la insolación depende del ángulo del panel con respecto a la posición del sol, se usa la insolación horizontal para referirse al potencial solar del

lugar. A partir de la insolación horizontal se puede estimar la insolación a un azimut y elevación determinado. La insolación será máxima cuando el panel se encuentre en posición horizontal frente al sol. Para conseguir esto sería necesario ajustar el ángulo de azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur.

**Figura 2.3.** Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año



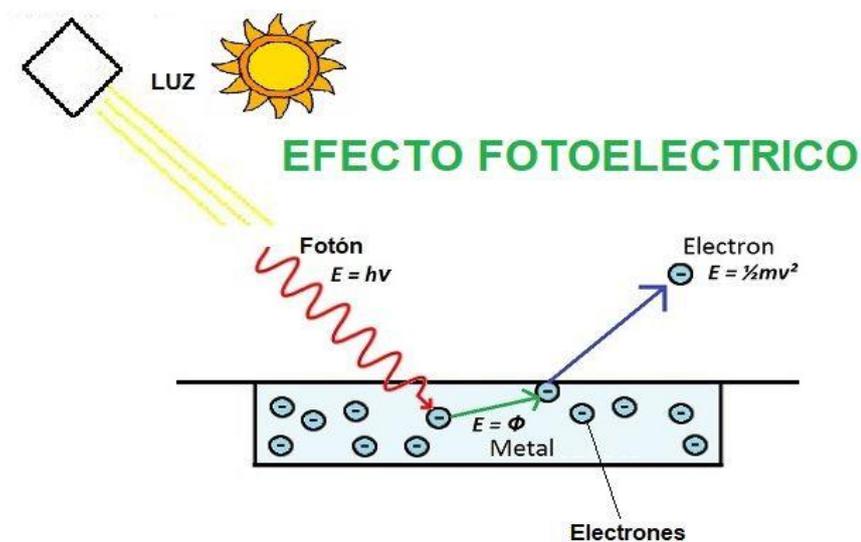
Fuente: Lorenzo, E. (2007). Electricidad Solar: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos. Sevilla. Editorial PROGENSA.

### 2.2.2. Celda Fotovoltaica

Una celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. A su vez el efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética, estos electrones libres, al ser capturados generan una corriente eléctrica (ver Figura 2.4). La Figura 2.5 muestra una celda fotovoltaica policristalina.

La unión de celdas fotovoltaicas da origen a un panel fotovoltaico, el que consiste en una red de celdas solares conectadas en serie para aumentar la tensión de salida continua hasta el valor deseado. También se conectan en paralelo con el propósito de aumentar la corriente de salida del sistema.

**Figura 2.4.** Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar



**Efecto Fotoeléctrico** = Emisión de los electrones de un metal cuando incide sobre el metal una luz

Fuente: Lorenzo, E. (2007). Electricidad Solar: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos. Sevilla. Editorial PROGENSA.

**Figura 2.5.** Celda Fotovoltaica de Silicio Policristalino



Fuente: Lorenzo, E. (2007). Electricidad Solar: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos. Sevilla. Editorial PROGENSA.

### 2.2.2.1. Dopado del Silicio y la Unión P-N

Un átomo del silicio posee cuatro electrones de valencia, estos electrones enlazan a los átomos adyacentes. Si se substituye un átomo de silicio por otro átomo que tenga tres o cinco electrones de valencia, en el primer, la falta de un electrón dejará un hueco disponible, quedando de esta forma con mayor carga positiva (capa P), mientras que en el segundo caso quedará un electrón libre, lo que genera una mayor cantidad de carga negativa (capa N), a este proceso de substitución de átomos se le conoce como dopado. El dopado se puede hacer por difusión a alta temperatura (existen otros métodos para dopar al silicio), donde las láminas se introducen en un horno con el dopante introducido en forma de vapor. Ambas capas se encuentran separadas por un material semiconductor, para formar una unión P-N. Para el dopado tipo P se utilizan generalmente átomos de boro, el cual posee tres electrones de valencia, mientras que para el dopado tipo N, se puede utilizar átomos de fósforo, que poseen cinco electrones de valencia.

El proceso de formación de la unión P-N, provoca una difusión de electrones de las zonas con mayores concentraciones, es decir, desde la capa de tipo N de la unión, hacia la capa P con menores concentraciones de electrones.

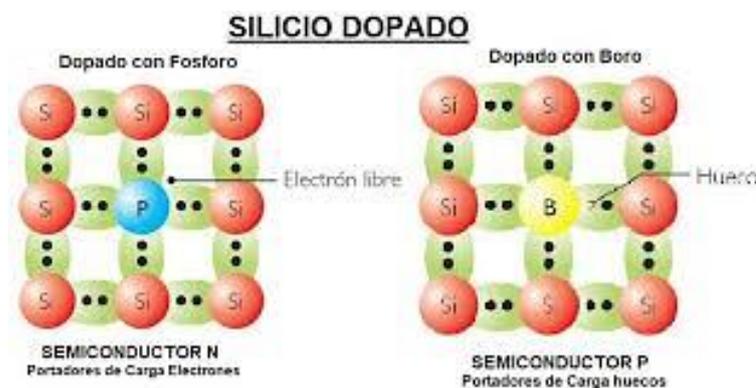
Esta difusión de electrones a través de la unión P-N, produce una recombinación con los huecos de la cara de tipo P, generando un campo eléctrico en la juntura hasta que se alcance el equilibrio, luego de esto no existe flujo de cargas a través de la unión, a no ser que sea excitada por una fuente externa.

El campo eléctrico establecido a través de la creación de la unión P-N crea un diodo que permite la circulación de corriente en un solo sentido a través de la juntura. Los electrones pueden pasar del lado N hacia el interior del lado P y los huecos pueden

pasar del lado P hacia el lado N. A la zona de difusión de electrones se le llama región de agotamiento o región de espacio de cargas, ya que son escasos los portadores de carga móviles existentes.

Finalmente, a la unión P-N se le insertan los contactos eléctricos en ambas capas de la celda, por medio de evaporación o pintando con metal. La parte posterior de la placa se puede cubrir totalmente con metal, pero el frente de la misma tiene que tener solamente un patrón en forma de rejilla o de líneas finas de metal, a fin de evitar el bloqueo de los rayos solares.

**Figura 2.6.** Dopado del Silicio



Fuente: Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica. México. Editorial Solartronic

**Figura 2.7.** Barra de Silicio Policristalino



Fuente: Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica. México. Editorial Solartronic

#### 2.2.2.2. Generaciones de Celdas Fotovoltaicas

- **Primera Generación:** consistían en una gran superficie de cristal simple. Una capa de unión P-N (similar a un diodo), capaces de generar energía eléctrica a partir de energía luminosa proveniente del sol. Se fabrican mediante un proceso de difusión con obleas de silicio, es por esto que también se lo conoce como celdas solares basadas en oblea. Corresponde a la tecnología que predomina en el mercado actual, abarcando aproximadamente el 86% del total de paneles fotovoltaicos.
- **Segunda Generación:** se basan en el uso de depósitos epitaxiales muy delgados de semiconductores sobre obleas con concentradores. Existen dos clases de celdas fotovoltaicas epitaxiales: las espaciales y las terrestres. Las celdas espaciales, generalmente poseen eficiencias AM0 (Air Mass Zero) más altas, cercanas al 28 o 30%, aunque su costo por Watt más alto. En las terrestres en cambio, la película delgada se ha desarrollado usando procesos de bajo costo, pero su eficiencia AM0 es menor que la anterior, alcanzando valores en 7 y 9%.

La tecnología de celdas solares de película delgada considera un ahorro notable en los costos de producción que, junto a su reducida masa, apropiada para aplicaciones sobre materiales flexibles y livianos, incluso en materiales de origen textil, representan grandes ventajas de la tecnología.

La aparición de paneles de película delgada de Ga y As para aplicaciones espaciales, con eficiencia AM0 sobre el 37%, se encuentran en estado de desarrollo para aplicaciones de elevada potencia. Esta tecnología representa un pequeño segmento del mercado fotovoltaico terrestre, siendo aproximadamente un 90% del mercado espacial.

- **Tercera Generación:** propuesta desde el año 2007, representa una tecnología muy diferente a las dos anteriores, ya no utiliza la unión P-N. Para aplicaciones espaciales se estudian dispositivos de huecos cuánticos y dispositivos que incorporen nanotubos de carbono, los que pueden alcanzar una eficiencia AMO superior al 45%. En cambio para aplicaciones terrestres, se están investigando dispositivos que incluyan celdas electroquímicas, polímeros, nanocristales y tintas sensibilizadas, de las cuales ya es posible ver algunos modelos (ver Figura 2.12 y Figura 2.13)
- **Cuarta Generación:** si bien es cierto no es una tecnología desarrollada, se estima que esta generación consistiría en una mezcla de nanopartículas con polímeros para formar una capa simple multiespectral. Luego se monta una capa sobre otra para fabricar celdas solares multiespectrales definitivas. Este tipo de celdas serán más eficientes y baratas.

La NASA ha utilizado la idea junto a la tecnología multiunión para sus misiones a Marte. Dentro de esta celda solar compuesta, la primera capa convierte los diferentes tipos de luz, la segunda es para la conversión de energía y la última capa es para el espectro infrarrojo, la cual permite utilizar parte del calor para generar energía aprovechable. La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) es la encargada de dirigir y supervisar la investigación que busca determinar la viabilidad de esta tecnología. Xsunx, Konarka Technologies, Inc., Nanosolar, Dyesol y Nanosys, son algunas de las compañías que trabajan en el proyecto.

### 2.2.2.3. Tecnologías de Fabricación de celdas fotovoltaicas

Las celdas solares de silicio se construyen utilizando planchas monocristalinas, planchas policristalinas o láminas delgadas (amorfas).

- **Silicio Monocristalino:** estas celdas están fabricadas en base a láminas de un único cristal de muy alta pureza y estructura cristalina casi perfecta. El espesor aproximado de las láminas es de 1/3 a 1/2 milímetro, las cuales son cortadas de una gran barra o lingote monocristalino creado a una temperatura cercana a 1400° C, siendo este un proceso muy costoso. La eficiencia de estas celdas ha llegado hasta el 24,7% en laboratorio y a un 16% en paneles comerciales. Los paneles construidos con este tipo de tecnología son los más desarrollados del mercado, siendo garantizados por algunos fabricantes por hasta 25 años. La Figura 2.8 muestra un panel solar de silicio monocristalino.

**Figura 2.8.** Panel Solar de Silicio Monocristalino



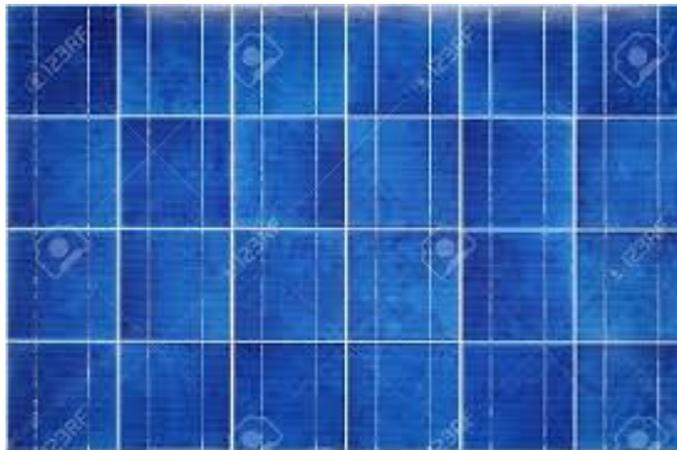
Fuente: Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica. México. Editorial Solartronic

- **Silicio Policristalino:** las láminas policristalinas son fabricadas a través de un proceso de moldeo, para esto se funde el silicio y luego se vierte sobre moldes. Una vez que el material se ha secado, se corta en delgadas láminas. El proceso de moldeo es menos costoso de producir que el silicio monocristalino, pero son menos

eficientes, debido a que el proceso deja imperfecciones en la superficie de la lámina. La eficiencia de conversión alcanza valores alrededor del 19,8% en laboratorio y de 14% en paneles comerciales. En la Figura 2.9 se puede apreciar un panel de estas características.

Las características del silicio cristalizado, hacen que los paneles de silicio policristalino posean un grosor considerable. Empleando silicio con otros materiales semiconductores, es posible obtener paneles más finos e incluso flexibles.

**Figura 2.9.** Panel Solar de Silicio Policristalino



Fuente: Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica. México. Editorial Solartronic

Tanto en el proceso de fabricación de láminas de silicio monocristalino, como policristalino, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el corte.

- **Silicio Amorfo:** es una tecnología de la mina delgada y se fabrica depositando silicio sobre un substrato de vidrio de un gas reactivo, tal como silano ( $\text{SiH}_4$ ). Además, es posible aplicarlo como película sobre substratos de bajo costo como cristal o plástico. La tecnología de fabricación ha cambiado rápidamente, lo que ha generado un aumento de su eficiencia, llegando a valores entre 5 y 10% para paneles comerciales y de 13% en laboratorios. Existen tecnologías de lámina delgada que

incluyen láminas de silicio multicristalino, seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio, telurio de cadmio/sulfuro del cadmio y arseniuro de galio. Este tipo de tecnología ofrece una serie de ventajas como: deposición y un ensamblado más fácil, la capacidad de ser depositadas en substratos o materiales de construcción baratos, los que incluso pueden ser flexibles, producción en masa, y conveniencia para grandes aplicaciones. Sus costos son inferiores a las dos tecnologías anteriores.

Otras tecnologías de lámina delgada son:

- **Teluro de cadmio:** Rendimiento en laboratorio 16% y en paneles comerciales 8%
- **Arseniuro de Galio:** es uno de los materiales más eficientes, alcanza un 25,7% de rendimiento en laboratorio y 20% en paneles comerciales
- **Diseleniuro de cobre en indio:** con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en paneles comerciales del 9%
- **Paneles Tándem:** estos combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Esto se debe a que cada tipo de material trabaja en una parte del espectro electromagnético de la radiación solar y con la utilización de dos o tres tipos de materiales se pueden aprovechar desde la radiación ultravioleta a las ondas visibles e infrarrojas del espectro. Con este tipo de paneles se ha alcanzado rendimientos del 35% y en teoría, con la unión de tres se podría alcanzar un 50% de rendimiento.
- **Paneles Fotovoltaicos Orgánicos (OPV):** Se trata de polímeros orgánicos capaces de reaccionar y liberar electrones en presencia de luz solar. La particularidad de estos paneles es que se pueden elaborar por medio de procesos de impresión y de recubrimiento a alta velocidad y escalables, como las pinturas en spray (ver Figura 2.10) y la impresión de inyección de tinta para cubrir áreas más extensas. Lo que

facilita su aplicación sobre superficies metálicas, paredes exteriores de un edificio o techo. De esta manera, es posible conseguirlos a costos mucho más bajos que los tradicionales de silicio.

Los expertos aseguran que gracias a los avances de la nanotecnología se están mejorando sus propiedades de eficiencia y grosor. En el caso de las celdas solares sensibilizadas por tinta, corresponden a unas películas coloreadas o transparentes que pueden instalarse en ventanas. Además poseen baja dependencia a la temperatura y al ángulo de luz, con lo que se puede conseguir la máxima potencia energética durante todo el año.

**Figura 2.10.** Celda Fotovoltaica Orgánica



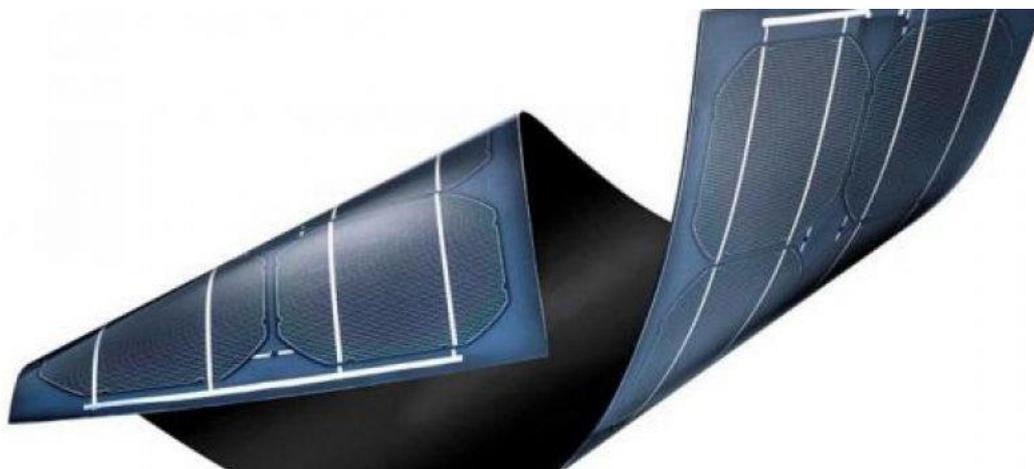
Fuente: Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica. México. Editorial Solartronic

- **Paneles Fotovoltaicos de película delgada (thin-film):** se construyen en base a microestructuras CIGS (Cobre Indio Galio Selenio), o CIS en caso de no incluir al Galio, alojadas sobre un soporte flexible y liviano, aptas para ser instaladas sobre

techos, fachadas de edificios, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y automóviles. La Figura 2.11 muestra dos tipos de láminas de esta tecnología.

Respecto a la energía consumida durante su fabricación, las temperaturas son mucho más bajas, al igual que el impacto ambiental. Según un estudio de Nanosolar, empresa especializada en el desarrollo de este tipo de tecnología, indica que un kilo de CIGS integrado en una celda solar produce cinco veces más electricidad que un kilo de uranio enriquecido integrado en una central nuclear.

**Figura 2.11.** Láminas Fotovoltaicas de Película Delgada (thin-film)



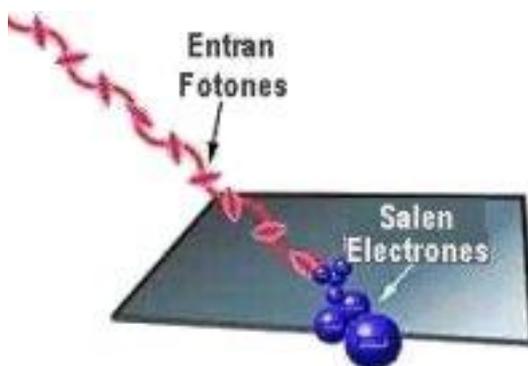
Fuente: Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica. México. Editorial Solartronic

#### 2.2.2.4. Funcionamiento de un Panel Fotovoltaico

El principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos se basa en el efecto fotovoltaico o efecto fotoeléctrico, mediante la captación de fotones provenientes de la luz solar, los cuales inciden con una cierta cantidad de energía en la superficie del panel, esta interacción provoca el desprendimiento de los electrones de los átomos de silicio, rompiendo y atravesando la barrera de potencial de la capa semiconductor (ver Figura 2.12). Esto genera una diferencia de potencial en la capa N con respecto a la P. Luego si se conecta una carga eléctrica o elemento de consumo entre los terminales del panel se

iniciará una circulación de corriente continua, tal como se puede apreciar en la Figura 2.13.

**Figura 2.12.** Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotones



Fuente: Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica. México. Editorial Solartronic

El nivel de energía proporcionado por un panel fotovoltaico depende de lo siguiente:

- Tipo de panel y área del mismo
- Nivel de radiación e insolación
- Longitud de onda de la luz solar

Una celda fotovoltaica común de silicio monocristalino de 100 cm<sup>2</sup> de superficie, puede producir aproximadamente 1.5 Watt de energía, a 0.5 volt (CC) y 3 amperes de corriente bajo condiciones óptimas (luz solar en pleno verano a una radiación de 1000W/m<sup>2</sup>). La energía entregada por la celda es casi directamente proporcional al nivel de radiación solar.

El nivel de potencia de salida por panel es denominado potencia pico, la cual corresponde a la potencia máxima entregable por el conjunto de celdas bajo las siguientes condiciones estándares de prueba (STC: Standard Test Conditions):

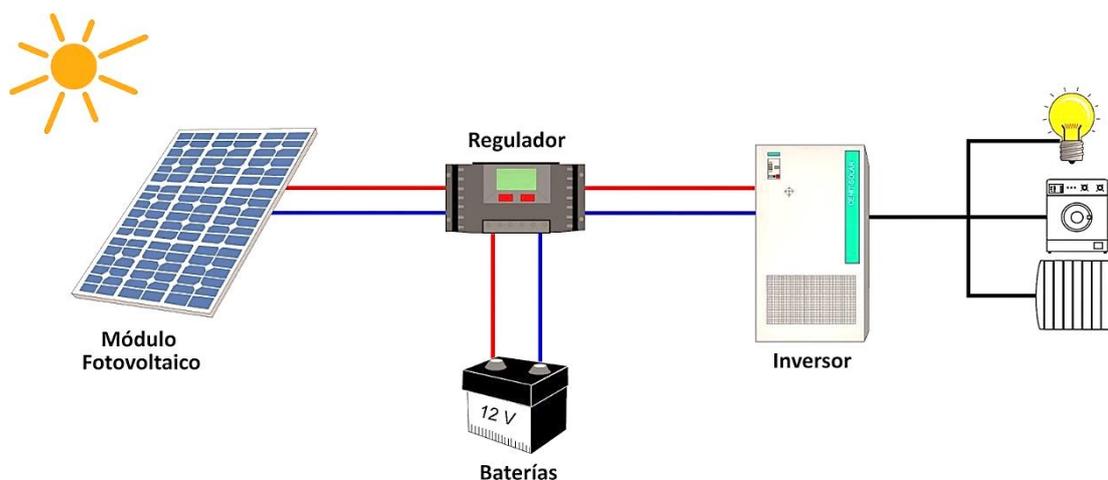
- Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>

- Temperatura de celda de 25°C (no corresponde a la temperatura ambiente).
- Masa de aire (AM=1,5).

Bajo estas condiciones es posible medir los siguientes parámetros:

- **Corriente de corto circuito (Isc):** corresponde a la máxima corriente en amperes generada por cada panel, al conectar una carga de resistencia cero en sus terminales de salida. Su valor depende de la superficie del panel y de la radiación solar.
- **Voltaje de circuito abierto (Voc):** corresponde al voltaje máximo que genera un panel solar y medido en los terminales de salida cuando no existe carga conectada, es decir, a circuito abierto.

**Figura 2.13.** Esquema de Funcionamiento de un Panel solar

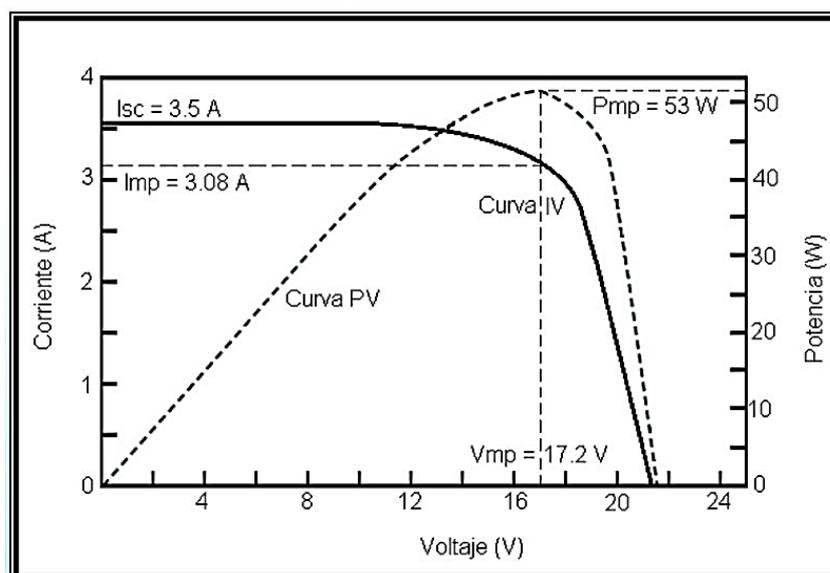


Fuente: Méndez, J. (2008). Energía Solar fotovoltaica. Madrid. Editorial Fundación Confemetal

El comportamiento eléctrico de los paneles está dado por las curvas de corriente  $v/s$  voltaje (curva IV) o potencia  $v/s$  voltaje (curva PV). La curva de potencia está dada por el producto entre la corriente y el voltaje en cada punto de la curva IV. La Figura 2.14 muestra las curvas IV y PV características de un panel típico Solarex VLX-53, disponible comercialmente. Bajo las condiciones estándares de prueba mencionadas anteriormente, cada modelo de panel tiene una curva IV o PV característica. La

corriente nominal ( $I_{mp}$ ) y el voltaje nominal ( $V_{mp}$ ) del panel se alcanzan en el punto de máxima potencia. Mientras el panel opere fuera del punto de máxima potencia, la potencia de salida será significativamente más baja. La Tabla 2.1 muestra los datos entregados por el fabricante de paneles Solarex VLX-53.

**Figura 2.14.** Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a  $1000 \text{ W/m}^2$  y  $25^\circ\text{C}$



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

**Tabla 2.1.** Placa de datos entregada por fabricante de un panel Solarex VLX-53

Modelo	VLX-53
Pmp	53 W
Vmp	17,2 V
Imp	3,08 A
Voc	21,5 V
Isc	3,5 A
Condiciones	1000 W/m <sup>2</sup> , 25°C

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

Una característica importante a tener en cuenta de los paneles fotovoltaicos es que el voltaje de salida no depende de su tamaño, ya que frente a cambios en los niveles de radiación incidente tiende a mantener una tensión constante de salida. En cambio la corriente, es casi directamente proporcional a la radiación solar y al tamaño del panel.

Una forma práctica de aumentar la potencia de salida del panel, consiste en instalar sistemas de seguimiento del sol, con el propósito de mantener lo más perpendicular posible el panel frente al sol, o concentrando la luz solar mediante lentes o espejos. El empleo de concentradores debe estar dentro de ciertos límites, ya que un aumento considerable de la temperatura provoca una reducción del voltaje de salida y por ende una reducción de potencia, no así la corriente, que se mantiene relativamente estable.

#### 2.2.2.5. Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico

- **Punto de máxima potencia ( $P_{mp}$ ):** corresponde a la máxima potencia que el panel puede entregar, la cual se da cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos en forma simultánea, esto se puede ver en el rectángulo inscrito dentro la curva IV de la Figura 2.14, donde el vértice sobre la curva, denominado  $P_{mp}$ , representa el valor de máxima potencia. Este valor se consigue de acuerdo a la Ecuación 3.4.1.

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (2.1)$$

- **Eficiencia en la conversión de energía ( $\eta$ ):** 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. La Ecuación siguiente define la eficiencia:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{E \times A_c} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_i} \quad (2.2)$$

Donde:

$\eta$ : representa a la eficiencia de la conversión de la energía.

**Pmp**: punto de potencia máxima (W).

**E**: nivel de radiación solar en la superficie del panel ( $W/m^2$ ), bajo condiciones STC.

**Ac**: Superficie del panel fotovoltaico ( $m^2$ ).

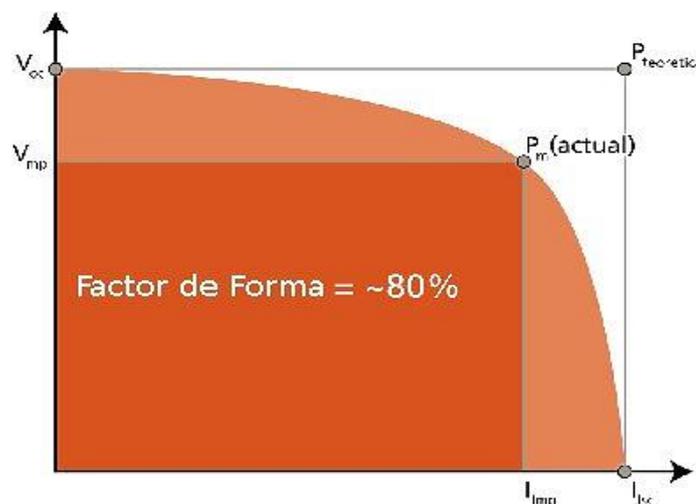
**Pi**: Potencia Recibida por el panel

#### ▪ Factor de forma (FF)

También se conoce como Fill Factor en inglés y define la eficacia de un panel solar, relacionando el punto de máxima potencia (Pm), dividido por el producto entre el voltaje a circuito abierto (Voc) y la corriente de cortocircuito (Isc). Esto se muestra en la ecuación:

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.3)$$

**Figura 2.15.** Factor de Forma (FF)



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

- **Potencia y Costos**

En un día despejado de nubosidad, el Sol irradia cerca de  $1 \text{ kW/m}^2$  a la superficie de la Tierra. Teniendo en cuenta que actualmente la eficiencia de un panel fotovoltaico puede estar entre el 12 y 25%, se alcanzaría una producción de energía aproximada de 120 a  $250 \text{ W/m}^2$ , dependiendo eso sí de la insolación solar.

A latitudes medias y septentrionales (regiones del norte), de acuerdo a las estaciones del año y las condiciones atmosféricas, en invierno el nivel de radiación promedio en la superficie terrestre es de  $100 \text{ W/m}^2$  y  $250 \text{ W/m}^2$  en verano. Con paneles de 12% de eficiencia de conversión de la energía, se pueden obtener 12 Watt y 30 Watt respectivamente.

Tomando como referencia un panel de un metro cuadrado de superficie y que entrega en promedio 30 Watt (0,03 KWh), además de un costo de la energía de 135 \$/KWh, se obtiene una generación de \$4,05 hora (\$97,2 día), promedio en la superficie terrestre. Ahora bien, un  $\text{Km}^2$  genera 30 MW (30 KWh) y un equivalente en pesos de 4.050.000 por hora y \$97.200.000 por día.

Por último, la gran desventaja que poseen los paneles fotovoltaicos, es su alto costo inicial y por lo tanto el proceso de recuperación de la inversión suele ser más lento, se estima en hasta 10 años el periodo de recuperación de la inversión realizada para un sistema convencional, mientras que para una instalación con sistema de seguimiento el periodo aumenta.

### 2.2.2.6. Factores que afectan el rendimiento de un Panel Fotovoltaico

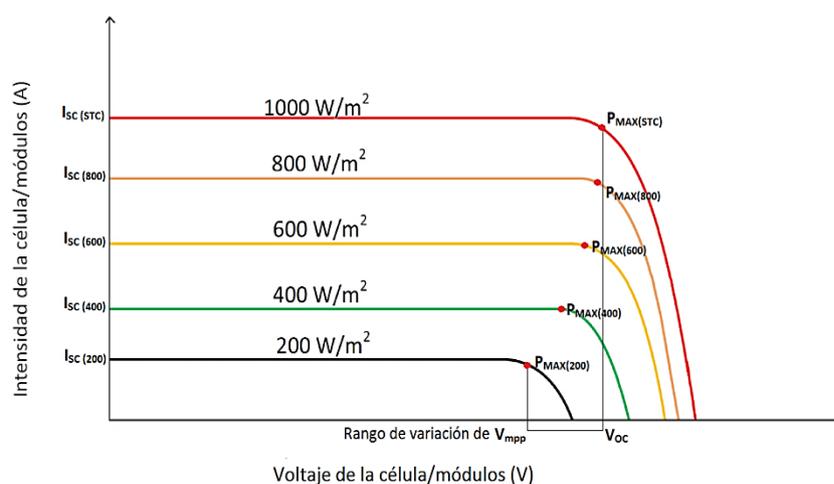
#### ▪ Energía de la luz incidente

Para producir el movimiento de los electrones y generar flujo de corriente, es necesario que el nivel de radiación que incide sobre el panel (fotones) posea una cantidad de energía entre ciertos límites. Debido a que la luz incidente tiene distintas longitudes de onda, cerca del 50% de la radiación recibida no está dentro del margen aceptado por los paneles solares disponibles comercialmente y se pierde, ya sea por poca o demasiada energía. Por otro lado, la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente y aceptada por el panel, por lo que un bajo nivel de energía radiante provocará que la corriente generada también sea baja, la Figura 2.16 muestra las curvas IV para distintos niveles de radiación.

#### ▪ Reflexión

Este tipo de pérdidas se produce en la superficie del panel, debido a la reflexión de los rayos incidentes. Para disminuir este tipo de pérdidas, en el proceso de fabricación se están utilizando capas antirreflejo y superficies rugosas.

**Figura 2.16.** Efectos de los niveles de radiación sobre la corriente



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

- **Efecto de la Sombra**

El efecto de sombras sobre los paneles solares, afecta notoriamente el rendimiento de estos, es por esto que se debe procurar al momento de diseñar una instalación fotovoltaica, situar los paneles en lugares donde no sufran este tipo de interferencias. Este efecto es más notorio en instalaciones de paneles conectados en serie, ya que si un panel es sombreado no generará los mismos niveles de energía que los que se encuentran descubiertos, por lo cual consumirá energía, en vez de generarla.

- **Efecto de la orientación e inclinación**

Los paneles solares trabajarán en forma óptima cuando su orientación sea directa hacia el sol, es decir, que el panel se sitúe perpendicularmente hacia el sol. En instalaciones fijas, es imposible mantener el panel perpendicular al sol, por lo cual, el sistema se debe diseñar de tal forma que su instalación permita aprovechar la mayor cantidad de luz posible y en los periodos de mayor radiación.

Para las instalaciones con sistema de seguimiento, este problema tiene menor incidencia, ya que el panel tiende a mantener la perpendicularidad hacia el sol. La Tabla 2.2 muestra los valores aceptables para distintos factores de pérdidas.

**Tabla 2.2.** Límites aceptables por pérdidas por efecto de la sombra, orientación e inclinación

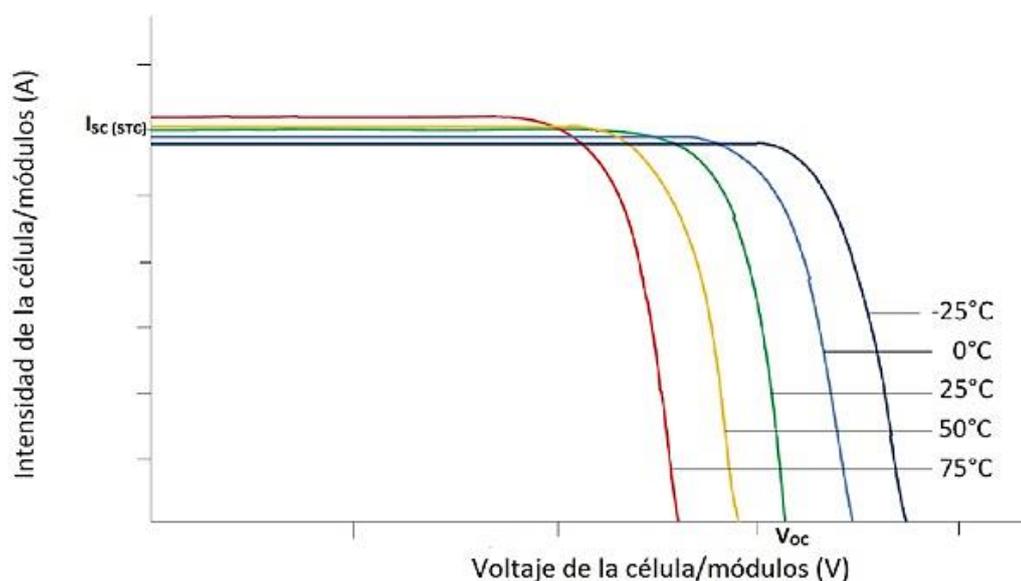
	<b>Orientación e Inclinación (OI)</b>	<b>Sombras (S)</b>	<b>Total (OI+S)</b>
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración Arquitectónica	40%	20%	50%

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

### ▪ Efecto de la Temperatura

La temperatura es un parámetro que afecta directamente la generación de energía en un panel fotovoltaico. Al aumentar la temperatura, la corriente también tiende a aumentar, pero el voltaje cae notablemente, lo que provoca una disminución de la potencia entregada por el panel, en cambio, al disminuir la temperatura el voltaje tiende a aumentar, pero la corriente disminuye, aumentando en una fracción el nivel de potencia entregada. Se estima que la potencia nominal se reduce aproximadamente un 0.5% por cada grado por sobre de 25 °C. Esto se puede ver en la Figura 2.17.

**Figura 2.17.** Efectos de la temperatura sobre la generación de energía en un panel solar



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

#### 2.2.2.7. Aplicaciones de los Paneles Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser aplicados tanto en la superficie terrestre como en el espacio.

En el espacio son una forma muy confiable para alimentar de energía a los satélites o sondas espaciales, ya que los niveles de radiación son más elevados por la carencia de obstáculos como la atmósfera.

Por otro lado, las aplicaciones en tierra van desde una simple celda para energizar calculadoras o relojes, hasta complejos sistemas de captación de la energía solar, también llamados parques solares. Las instalaciones pueden ser de dos tipos: conectadas a la red eléctrica, o bien, aisladas de la red eléctrica. Éstas serán descritas más adelante.

La utilización de sistemas auxiliares, como, baterías, inversores o reguladores, han permitido ampliar el campo de aplicación de estos sistemas, ya que como se sabe, los paneles fotovoltaicos entregan por sí solos corriente continua, lo cual imposibilita su utilización directa en sistemas que funcionen en base a corriente alterna.

Actualmente muchos gobiernos están impulsando y motivando a la población para la utilización de sistemas no convencionales en base a energías renovables. Algunos de estos países son: Alemania, Japón, EEUU, España, Grecia, Italia, Francia, etc., los cuales subvencionan las instalaciones con el objetivo de diversificar la matriz de generación y así evitar la dependencia de los sistemas convencionales de generación eléctrica, como por ejemplo: hidroeléctricas o en base a combustibles fósiles. Además de contar con apoyo para la instalación del sistema, para las instalaciones conectadas a la red eléctrica y que tienen la posibilidad de vender parte de la energía generada, los costos pagados por este concepto suelen ser más elevados que por los de generación convencional.

A continuación, se listan una serie de aplicaciones, sin necesidad de estar limitadas a ésta.

- Centrales conectadas a la red eléctrica con subvención a la producción (para los países que se cuenta con ésta opción).
- Estaciones repetidoras de microondas y de radio.
- Electrificación de zonas alejadas de la red eléctrica.
- Sistemas de comunicaciones de emergencia.
- Sistemas de monitoreo remoto.
- Faros, boyas y balizas de navegación marítima.
- Bombeo para sistemas de riego y agua potable en áreas rurales.
- Balizamiento para protección aeronáutica.
- Sistemas de desalinización.
- Señalización ferroviaria.
- Fuente de energía para naves espaciales.
- Parquímetros, etc.

**Figura 2.18.** Conjunto de paneles solares, Expo 2005 Aichi Japan, Japón



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

### 2.2.2.8. Clasificaciones de las Instalaciones Fotovoltaicas

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden dividir en dos tipos, según el objetivo que a estas se les designe. El primer tipo corresponde a las instalaciones aisladas de la red eléctrica, las cuales cumplen la función de satisfacer total o parcialmente los requerimientos de energía eléctrica de viviendas o localidades que no cuentan con la prestación de servicio eléctrico de alguna compañía. El segundo tipo corresponde a las instalaciones conectadas a la red eléctrica y tienen por objetivo reducir el consumo de energía eléctrica convencional (de la red), optando por satisfacer la demanda por medio del sistema fotovoltaico y si es posible, entregar a la red eléctrica parte de la energía generada y que no es ocupada en el lugar de la instalación.

#### 2.2.2.8.1. Instalaciones aisladas de la red eléctrica

Son utilizadas en sectores alejados, que no tienen acceso a la red eléctrica, generalmente sectores rurales, iluminación de áreas aisladas, antenas de comunicaciones, balizas o boyas de señalización, bombeo de agua, etc. Estos sistemas van acompañados de inversores de corriente, para pasar de corriente continua a corriente alterna, reguladores de voltaje y bancos de baterías que permiten almacenar la energía que no se está utilizando. Esto puede ser apreciado en la Figura 2.19.

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

- **El sistema centralizado**

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

- **El sistema descentralizado**

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

**Figura 2.19.** Instalación Fotovoltaica Aislada de la Red Eléctrica



Fuente: Valera, A. (2011). Electricidad Solar. Lima. Editorial Hozlo S.C.R.L.

#### 2.2.2.8.2. Instalaciones conectadas a la red eléctrica

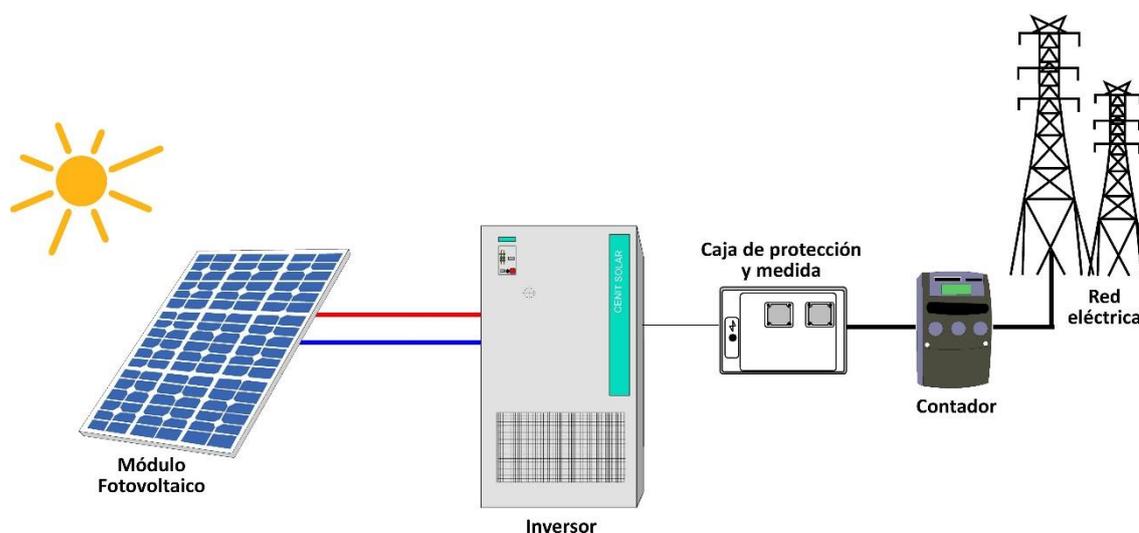
Este tipo de instalaciones se encuentra permanentemente conectado a la red eléctrica, de tal forma que en periodos de irradiación solar, sea el sistema fotovoltaico quien entregue energía, mientras que en periodos de radiación limitada o nula, sea la red eléctrica quien entregue la electricidad necesaria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

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

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

Si bien es cierto, estas instalaciones en estricto rigor están permanentemente conectadas a la red eléctrica, por lo cual no necesitan de sistemas de conversión y almacenamiento como en el caso de las aisladas, también sería posible utilizarlas como los sistemas aislados, esto en el caso de que sea una instalación pequeña que cubra parcialmente la demanda local y que desee cubrir la energía faltante con la red eléctrica. Para esto, además es necesario utilizar un conmutador que permita realizar el cambio entre la energía entregada por el sistema fotovoltaico a la energía de la red. La Figura 2.20 muestra un esquema de instalación conectada a la red.

**Figura 2.20.** Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red Eléctrica



Fuente: Valera, A. (2011). Electricidad Solar. Lima. Editorial Hozlo S.C.R.L.

- **Huerta Solar:** Una huerta solar o también llamada Electranet, es un recinto en el cual distintos dueños o familias instalan y comparten pequeños sistemas fotovoltaicos. La Figura 2.21 muestra una huerta solar. Se estima que una instalación fotovoltaica en una superficie de una hectárea, puede entregar energía suficiente para satisfacer los requerimientos de unas 100 familias.

Para una instalación que genere unos 100 KW de energía, es posible recuperar la inversión realizada (incluyendo paneles, bancos de baterías, inversores, reguladores, accesos, cierre perimetral, etc.) en un periodo comprendido entre 12 y 17 años aproximadamente. Además en algunos países se cuenta con el incentivo del gobierno para instalaciones de este tipo, lo cual las hace aún más ventajosas.

#### 2.2.2.8.3. Instalaciones Híbridas

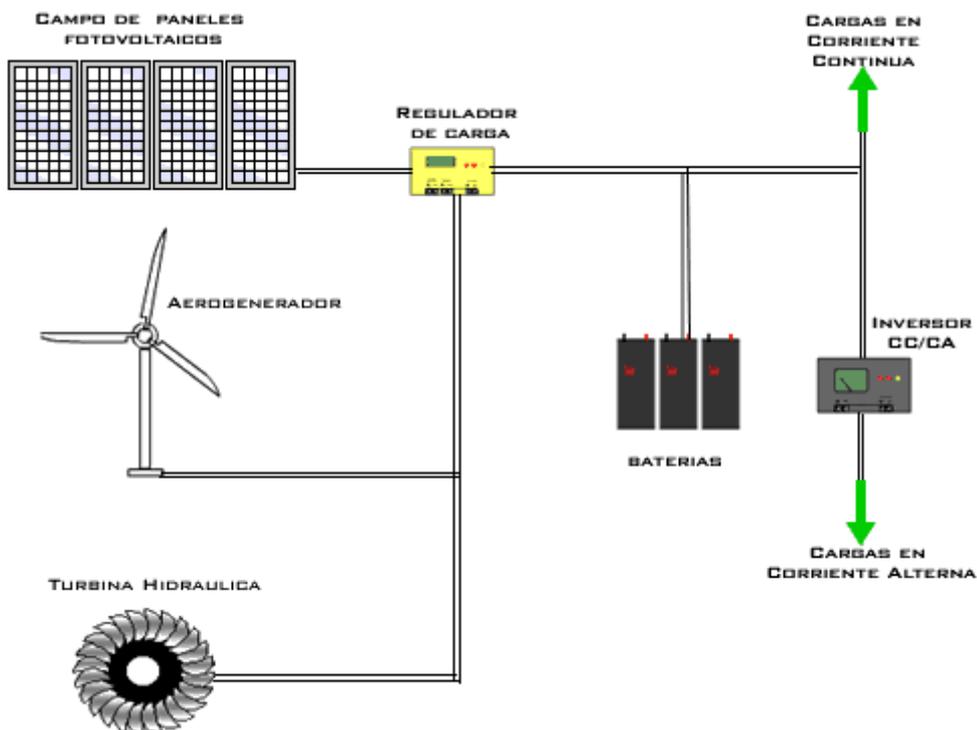
En este tipo de instalaciones se combinan los sistemas fotovoltaicos con una o más fuente de energía renovable o no renovable, como por ejemplo: sistemas eólicos, mareomotriz, biomasa, geotermia, generadores, etc. según se muestra en la Figura 2.22, aumentando de esta forma la confiabilidad de la instalación, ya se evita la dependencia de la plena de un solo medio de generación, como lo es el fotovoltaico, permitiendo en cambio, la complementación de estos sistemas.

**Figura 2.21. Huerta Solar**



Fuente: Valera, A. (2011). Electricidad Solar. Lima. Editorial Hozlo S.C.R.L.

**Figura 2.22. Instalación Híbrida Solar-Eólica**



Fuente: Valera, A. (2011). Electricidad Solar. Lima. Editorial Hozlo S.C.R.L.

### 2.2.2.9. Equipos Necesarios para una Instalación Fotovoltaica

- **Paneles fotovoltaicos:** como se ha dicho en reiteradas ocasiones, el panel solar es el encargado de transformar la energía proveniente del sol (fotones), en energía eléctrica (electrones). La tecnología más utilizada en la construcción de paneles solares es la de Silicio Cristalino.

Para instalaciones que demanden una gran cantidad de energía, se debe realizar una interconexión de paneles a fin de lograr la potencia requerida.

- **Regulador:** este equipo cumple la función de controlar el ciclo de carga y descarga del banco de baterías de ciclo profundo, además de protegerlas en caso de una sobrecarga o descarga excesiva. 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.

- **Baterías de ciclo profundo:** están encargadas de almacenar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos y son diseñadas para soportar los constantes procesos de carga y descarga, en base a un proceso electroquímico de oxidación/reducción. Una batería de ciclo profundo, en su estado máximo de carga, puede proveer energía eléctrica durante unas 20 horas continuas.

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

- **Inversor:** Transforma la corriente continua de baja tensión (12, 24, 32, 36 o 48 v) generada por las placas fotovoltaicas y la acumulada en las baterías, a corriente alterna de una magnitud y frecuencia necesaria, en nuestro caso, 220 Volts y 60 Hz de frecuencia. Esto es necesario para poder utilizar los equipos eléctricos de corriente alterna.

Un inversor está formado por las siguientes etapas:

- Etapa Osciladora: cumple la función de generar los pulsos a una frecuencia similar a la frecuencia de la red eléctrica donde será conectado, en nuestro caso es de 60 Hz, o ciclos por segundo.
- Etapa Amplificadora: está formada por transistores que cumplen la función de amplificar la señal pulsante de la etapa osciladora, a un nivel suficiente como para excitar a la sección elevadora de voltaje.
- Etapa elevadora de Voltaje: un transformador de voltaje se encarga de elevar la tensión a 220 volt para nuestro caso, para que de esta forma se puedan conectar artefactos eléctricos que trabajen a 220 volt y 60 Hz. A la salida se obtiene una señal senoidal de características casi similares a la de la red eléctrica.

#### **2.2.2.10. Posicionamiento y orientación de los PFV y condiciones óptimas para un mejor aprovechamiento de la Energía Solar**

Debido a que los paneles solares fotovoltaicos basan su funcionamiento en la luz y energía proveniente del sol, la energía eléctrica entregada será proporcional a la

cantidad de luz que reciban sobre su superficie captadora. Es por esto que mientras mayor sea la energía irradiada sobre el panel, mayor será la cantidad de energía eléctrica que se obtenga a su salida. En el caso de nuestro país, las condiciones son variadas según muestra la Tabla 2.3, la zona norte cuenta con las mejores condiciones de irradiación a lo largo de todo el país, siendo la zona sur Antártica la que posee la menor irradiación.

**Tabla 2.3.** Radiación Solar en el Perú

CIUDAD CAPITAL DE DEPARTAMENTO	ENERGIA SOLAR DIARIA PROMEDIO ANUAL kWh/m <sup>2</sup>
TUMBES	5.67
PIURA	5.54
CHICLAYO	5.50
TRUJILLO	5.13
HUARAZ	5.29
LIMA	5.13
ICA	5.50
AREQUIPA	6.08
MOQUEGUA	6.04
TACNA	5.83
PUNO	5.21
CUSCO	5.17
ABANCAY	5.13
AYACUCHO	5.17
HUANCAVELICA	5.33
HUANCAYO	5.33
CERRO DE PASCO	5.46
HUNUCO	4.83
CAJAMARCA	5.25
CHACHAPOYAS	4.87
MOYOBAMBA	4.67
IQUITOS	4.42
PUCALLPA	4.63
PUERTO MALDONDO	4.79

Fuente: SENAMHI

Las mejores condiciones de funcionamiento para un panel fotovoltaico estarán dadas en días despejados, con alto nivel de irradiación directa, con la superficie captadora perpendicular al sol, sin objetos que se interpongan en la trayectoria de la luz (sombras de árboles, edificios, suciedad del panel, etc.) y con amplios periodos de insolación. La respuesta o cantidad de energía entregada por el panel dependerá

directamente de la eficiencia del mismo, lo cual a su vez depende de la tecnología con que fue construido.

Por otro lado un panel solar generará electricidad incluso en ausencia de luz solar directa, lo que significa que en días nublados también habrá generación de electricidad, pero como se dijo anteriormente, 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. Es por esto que en el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur y en el Hemisferio Sur, hacia el norte. En nuestro país deben ser orientados hacia el norte para aprovechar la mayor cantidad de horas de luz. Además el panel deberá instalarse con un cierto ángulo de inclinación medido entre el panel y el plano horizontal, para que la irradiación incidente se lo más uniforme y perpendicular al panel, esta inclinación dependerá de la latitud de la zona donde se instalarán los paneles y de la estación del año. En zonas cercanas al ecuador el panel es instalado casi en forma horizontal al plano de la tierra.

Algunas recomendaciones acerca de la instalación apuntan a que se debe tomar como referencia el punto de mayor producción durante la estación de invierno, lo cual asegurará un óptimo funcionamiento durante el resto del año.

Una forma de aprovechar mejor la energía solar, aunque más cara, es instalando sistemas de seguimiento del sol. Para esto el panel se monta sobre una plataforma móvil que permite seguir la trayectoria del sol en forma automática.

Una pequeña desviación en la orientación no influye significativamente en la generación de electricidad, ya que durante el día el sol se traslada en el cielo de este a oeste.

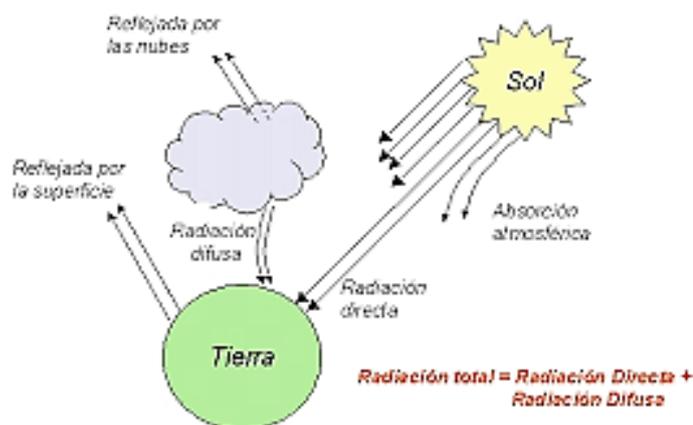
A continuación, se mencionan algunos factores a tener en cuenta para la instalación de paneles fotovoltaicos:

- **Masa de Aire (AM):** está determinada por la posición relativa del sol respecto a la horizontal de un lugar de la tierra en particular. Dicho de otra forma, se relaciona con el ángulo de incidencia del sol respecto al cenit. La Masa de Aire se representa por la Ecuación 2.4 y la Figura 2.23 lo muestra en forma gráfica.

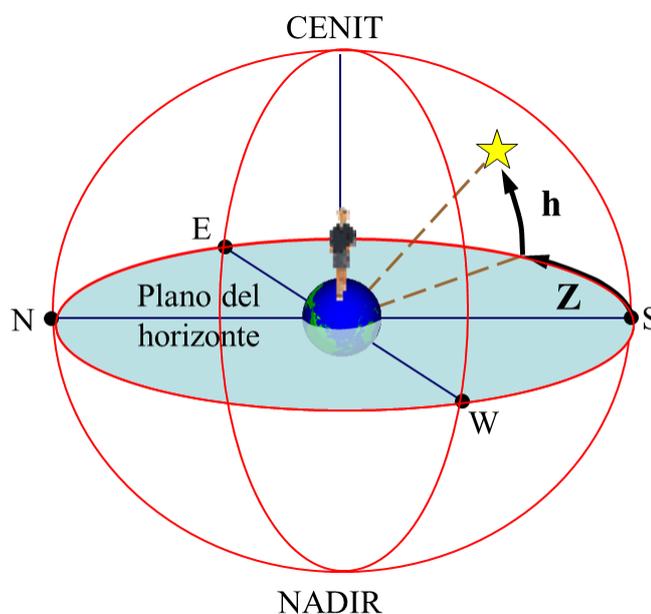
$$AM = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (2.4)$$

- **Cenit (zenit o cénit):** corresponde a la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste. Es el punto más alto del cielo o Bóveda Celeste. El punto diametralmente opuesto de la esfera celeste al cenit se denomina nadir. Esto se observa en la Figura 2.24.

**Figura 2.23.** Masa de Aire entre el Sol y la Superficie Captadora



Fuente: Martínez A. (2012). Dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid. Ediciones Paraninfo.

**Figura 2.24.** Representación del Cenit y Nadir

Fuente: Martínez A. (2012). Dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid. Ediciones Paraninfo.

- **Inclinación ( $\beta$ ):** Angulo entre el panel solar y el plano horizontal. Este ángulo será de gran importancia para una buena instalación. Dependerá directamente de la latitud del lugar y de la estación del año. (ver Figura 2.25)
- **Angulo acimutal ( $a$ ):** En astronomía es el ángulo o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal Norte (Sur) y la proyección vertical del sol sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud Norte (Sur). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj (Norte-Este-Sur-Oeste).

Por proyección vertical entendemos el corte con el horizonte que tiene el círculo máximo que pasa por el cenit y el sol (ver Figura 2.25).

**Figura 2.25.** Ángulos de Inclinación ( $\beta$ ) y Acimut ( $\alpha$ )

Fuente: Martínez A. (2012). Dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid. Ediciones Paraninfo.

## CAPÍTULO III.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

Los materiales empleados en el desarrollo del proyecto de investigación para determinar la eficiencia de un panel fotovoltaico fueron en parte equipos e instrumentos.

##### 3.1.1. Condiciones Ambientales

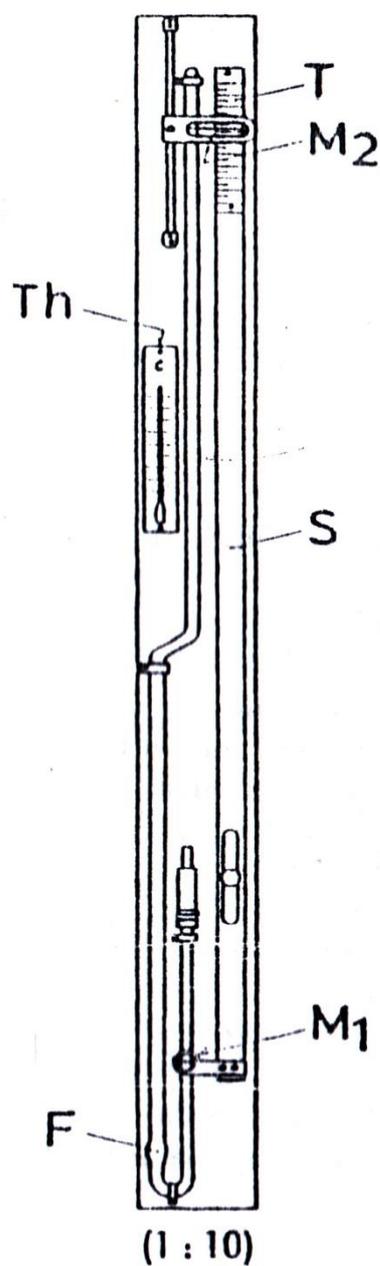
###### 3.1.1.1. Barómetro de Sifón

El barómetro de sifón se emplea para mediciones exactas de la presión atmosférica y se utiliza también para la graduación de barómetros aneroides. Consta de un tubo de vidrio curvado de 3 mm de diámetro, con un brazo largo cerrado y otro corto abierto.

El tubo está montado sobre un tablero, provisto además de una lámina desplazable (S) con un dispositivo que permite la lectura de la presión y de un termómetro (Th). La lámina desplazable (S) tiene en su parte superior una graduación en milímetros (T) y en la parte inferior un cursor con una marca ( $M_1$ ). La lámina desplazable puede moverse dentro de una guía y se fija por medio de un tornillo moleteado.

La marca ( $M_1$ ) se emplea para leer con exactitud la altura de la columna de mercurio del brazo largo. El tubo de vidrio está protegido contra la entrada de burbujas de aire por medio de una trampa (F).

Figura 3.1. Barómetro de sifón.



Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.1.1.2. Psicrómetro

Instrumento empleado para medir indirectamente la humedad relativa del aire.

Está formado por dos termómetros uno de bulbo seco y uno de bulbo húmedo, cuyos

depósitos se mantienen, el uno seco y el otro mojado cubierto por una película fina de agua pura o hielo. Fue diseñado por Augustus en 1825.

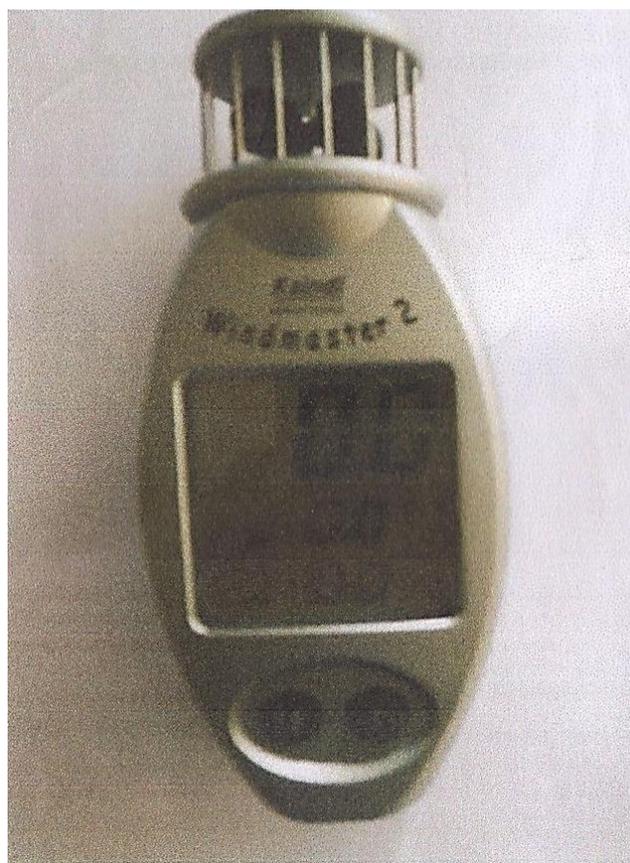
**Figura 3.2.** Psicrómetro.



Fuente: SENAMHI

### **3.1.1.3. Anemómetro**

Aparato meteorológico utilizado para medir la velocidad (m/s) o fuerza del viento; o para la observación simultánea de la dirección (en grados) y la velocidad del viento. Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas (fluctuaciones habituales del viento) se producen con tal frecuencia que restan interés a dicha medición, por lo que se toma siempre un valor medio en intervalos de 10 minutos.

**Figura 3.3.** Anemómetro

Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.1.2. Sistema de Energía Solar Fotovoltaico

#### 3.1.2.1. Panel Fotovoltaico SLP 60-12''

Es un sistema captador de energía solar que tiene una conversión directa, para proporcionar corriente eléctrica continua. Los parámetros solares que determinan su potencia de 60 watts son: el área de captación, el rendimiento de semiconductores, la irradiación solar y el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico.

**Las características técnicas son:**

Marca	: Sunbe
Modelo N°	: SLP 60-12
P <sub>máx.</sub>	: 60 W

Especificaciones	: SLP 60-12 766x676x30 mm policristalino.
Características	: Peso Kg 156 x 156 mm 6" PolyCrystallinecell
Certificado	: TUV/IEC61215/IEC61730 CSA/UL1703

**Características Mecánicas:**

Tecnología	: Poly-Crystal Silicon
Tamaño	: 156x156 mm
Número de células	: 36 (4x9)
Dimensiones	: 766x676x30 mm
Peso	: 6 Kg

**Coefficientes de Temperatura:**

Temperatura de operación nominal de la célula ( $T_{ONC}$ )	: $45/^{\circ}C \pm 2/^{\circ}C$
Coefficiente de Temperatura de $P_m$	: $-0,45\% /^{\circ}C$
Coefficiente de Temperatura $V_{oc}$	: $-0,34\% /^{\circ}C$
Coefficiente de Temperatura	: $-0,05\% /^{\circ}C$

**Rendimiento Eléctrico:**

$P_{m\acute{a}x}$ ( $\pm 3\%$ )	: 60 W
$V_{mp}$	: 18
$I_{mp}$ (A)	: 3,34
$V_{oc}$ (V)	: 23
$I_{sc}$ (A)	: 4,2
Eficiencia del Módulo (%)	: 15,00

Nota: Condiciones de prueba estándar.

Irradiancia: 1000 W/m<sup>2</sup> – AM : 1,5 – Temperatura: 25°C

### 3.1.2.2. Controlador de Carga Solar

El controlador de carga protege la batería contra posible sobrecarga del módulo solar y evita que sea descargada durante los consumos. El proceso de carga ocurre durante múltiples estados los cuales incluyen adaptación automática a la temperatura ambiente para una óptima recarga de la batería.

El controlador está diseñado para ser usado con un sistema de voltaje de 12V y tiene funciones de seguridad.

#### Características técnicas:

Voltaje nominal	: 12V
Voltaje de carga profunda	: 14,5V
Voltaje de flotación	: 13,7V (25°C)
Voltaje de desconexión de carga	: 11,5V (25°C)
Voltaje de reconexión de carga	: 12,5V
Máx corriente de panel solar	: CA06/08/10/14;5/8/10/14A a 50°C de T° ambiente
Dimensiones	: 80 x 100 x 32 mm (Wxhxd)
Máx. tamaño de cable	: 16 mm <sup>2</sup> (AWG #6)
Autoconsumo	: 4 mA
Rango de temperatura ambiente	: -40 a +50°C
Caja de protección	: IP22

### 3.1.2.3. Convertidor CD/CD “Plus”

El convertidor de voltaje PLUS permite conectar a un sistema fotovoltaico de 12V aparatos portátiles que originalmente funcionan con baterías, tales como radios, grabadora o televisores, cuyo consumo no sea mayor de 1,7 amperios o 20 watts.

Número de pilas utilizadas (chicas, medianas o grandes)	SELECTOR
2	3 volts
3	4,5 volts
4	6 volts
5	7,5 volts
6	9 volts
8	12 volts
Pila cuadrada tipo MN 1604-522 ó 216	9 volts

### 3.1.2.4. Inversor de 12V (DC) – 220V (AC)

Los inversores también denominadas convertidores, transforman la corriente continua (DC) proveniente del campo de paneles o del acumulador en una corriente alterna (AC) no necesariamente senoidal (DC – AC).

Su elección se basará en:

- Estabilidad del voltaje de salida
- Rango de tensión de entrada
- Potencia nominal y potencia pico
- Alta eficiencia de conversión

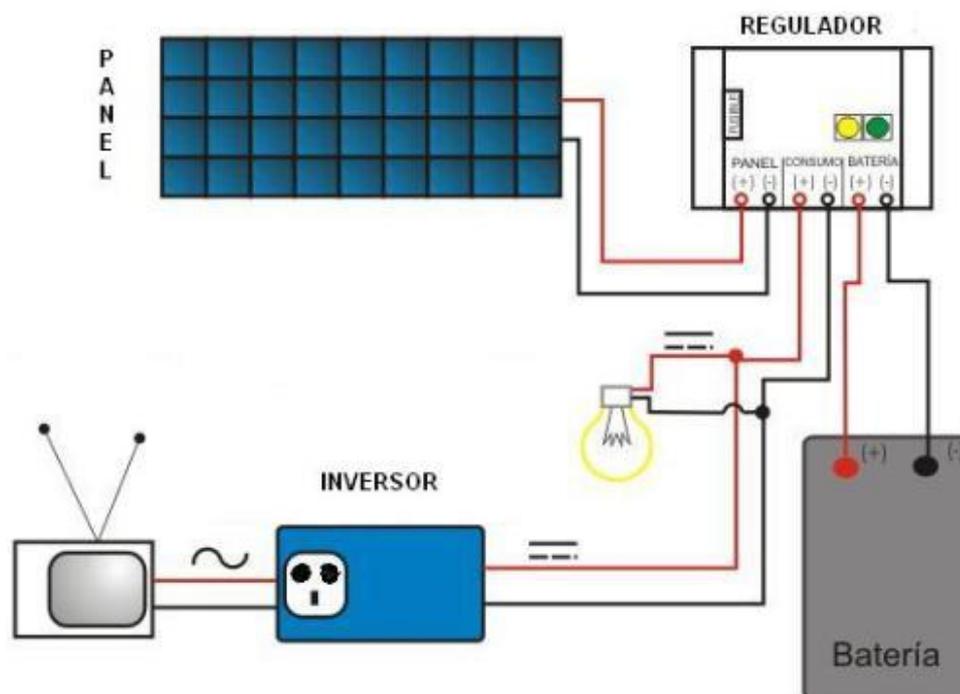
- Forma de onda
- Rango de temperaturas de operación
- Consumo sin carga conectada
- Tipo de carga conectada

### 3.1.2.5. Batería Plomo – ácido

Se compone de 15 placas de plomo inmerso en el electrolito. Las placas positivas y negativas se alternan en la batería por separadores eléctricamente no conductores que, tal y como se ha mencionado con anterioridad, están fabricadas con un material microporoso que permite el flujo del electrolito.

Cada una de las placas consiste en una rejilla de aleación de plomo con una pasta de óxido de plomo incrustado en la propia rejilla, con el fin de evitar la rotura de la placa en el transporte o durante su servicio.

**Figura 3.4.** Sistema de panel fotovoltaico.



Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.1.3. Piranómetro

Instrumento utilizado para medir la radiación global (directa más difusa). Es a partir de este instrumento que se dispone actualmente la mayor parte de los datos confiables de radiación solar. La unidad de medición es potencia sobre área ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), esta cantidad de potencia al tener contacto con la superficie se convierte en energía en forma de calor.

Las partes principales de un piranómetro son:

- El sensor térmico, cuya superficie receptora está pintada en negro o alternativamente en negro y blanco.
- La cúpula que cubre concéntricamente la superficie receptora.
- El cuerpo, que en general está cubierto por una pantalla contra la radiación solar, y es usado como referencia térmica.

**Figura 3.5.** Piranómetro digital.



Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.1.4. Multímetro

El multímetro es un dispositivo capaz de hacer diversas mediciones de tensión, resistencia, corriente, continuidad entre otras. El uso que le dimos en el proyecto fue las mediciones de corriente, tensión, así como continuidad de los conductores para reconocerlos.

**Figura 3.6.** Multímetro.



Elaborado por el equipo de trabajo

## 3.2. MÉTODOS

Las metodologías empleadas en el desarrollo de la investigación fueron las siguientes:

### **Metodología para determinar la inclinación y orientación del panel fotovoltaico**

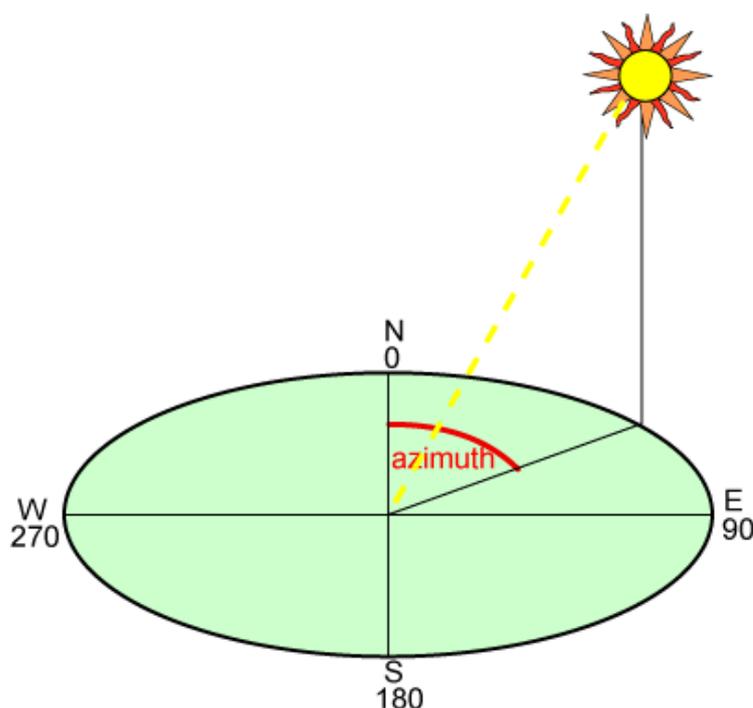
La orientación óptima es que el panel fotovoltaico estuviera en todo momento perpendicular a la “línea imaginaria” que une el sol con el panel fotovoltaico. El panel

debe orientarse para tratar de aprovechar al máximo la energía recibida del sol. La instalación de los paneles fotovoltaicos está determinado por dos ángulos, el acimut “ $\alpha$ ” (ángulo que mide la desviación respecto al ecuador) y la inclinación o elevación “ $\beta$ ” (ángulo formado por la superficie del módulo y el plano horizontal).

### Acimut ( $\alpha$ )

La posición idónea es cuando  $\alpha = 180$ , orientado hacia el norte, ya que el sol sale por el Este y se pone por el Oeste, para que durante el día el panel capte la mayor cantidad de radiación posible, considerando que estamos en el hemisferio sur.

**Figura 3.7.** Acimut.



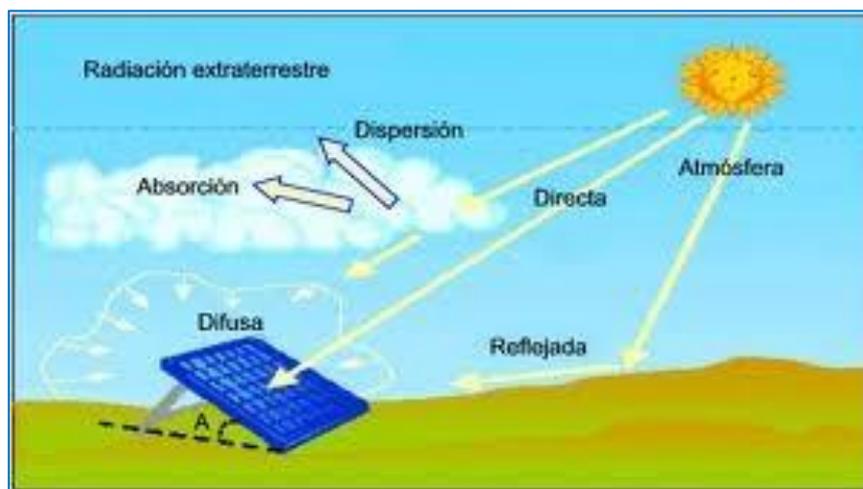
Elaborado por el equipo de trabajo

### Inclinación ( $\beta$ )

Una vez fijado el acimut, el parámetro que es determinante, y que hay que considerar, es la inclinación del panel, que se expresa como el ángulo beta ( $\beta$ ). debido a que la máxima altura que alcanza el sol cada día varía según las estaciones, teniendo su

máximo en el día del solsticio de verano y su mínimo en el solsticio de invierno, lo ideal sería que el panel siguiera ésta variación, pero esto no es posible por razones económicas. Se recomienda que la inclinación del panel coincida con la latitud del lugar en el que se instalará.

**Figura 3.8.** Inclinación



Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.1. Metodología para determinar el polo norte geográfico

La brújula señala los polos norte y sur magnéticos, que no se corresponden con los polos geográficos; las desviaciones son apreciables y cambiantes en el tiempo. La diferencia entre la situación del polo magnético y el polo geográfico se denomina variación.

La metodología experimental para determinar el polo norte geográfico es:

**Tabla 3.1.** Procedimiento para determinar el polo norte geográfico

Trazado	Método a Seguir
	<p>En torno a 2 o 3 horas antes del mediodía (12 h), clavar en la tierra una estaca o una varilla, tubo o similar, de unos 2,5 m de largo.</p> <p>La varilla o similar proporcionará una sombra.</p> <p>En el momento en que se considere oportuno, marcar el extremo de la sombra. Punto A.</p>
	<p>Haciendo centro en O (varilla o similar), trazar una circunferencia con radio O-A.</p> <p>La sombra se irá recogiendo hasta ser nula y empezar a proyectarse en sentido contrario.</p>
	<p>Esperar a la tarde y a que la sombra que hace la varilla o similar se vaya prolongando dentro de la circunferencia.</p> <p>Cuando el extremo de la sombra toque la circunferencia, marcar el punto de contacto. Punto B.</p>
	<p>Unir el punto A con el B. La recta trazada será perpendicular a la orientación NORTE.</p> <p>El NORTE geográfico estará orientado mirando desde la recta A-B hacia la varilla, tal como se representa en la figura.</p>

Elaborado por el equipo de trabajo

### **3.2.2. Metodología para medir la radiación solar que incide sobre el panel fotovoltaico**

La radiación solar fue medida por la Estación Meteorológica de la Escuela Profesional de Físico Matemáticas de la Universidad Nacional del Altiplano.

Esta estación meteorológica automática registra los parámetros climatológicos cada 5 minutos. Se obtuvieron los siguientes parámetros:

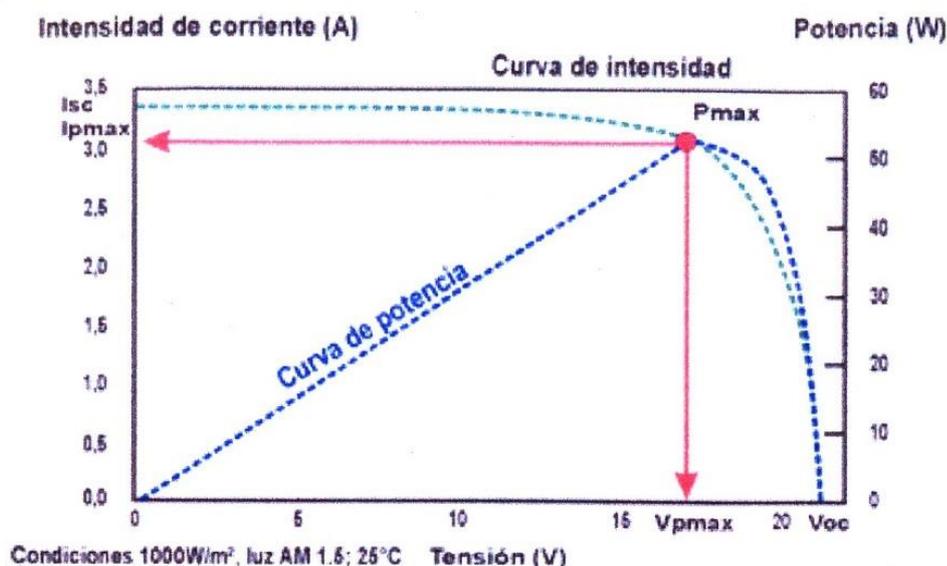
- Fecha
- Temperatura ambiente (°C)
- Velocidad del viento (m/s)
- Hora
- Irradiación ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

### **3.2.3. Metodología para determinar las características eléctricas en el panel fotovoltaico**

Las características eléctricas de un módulo vienen determinadas por la curva tensión – intensidad (V-I) a unas condiciones estándar de radiación solar de  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ , AM de 1,5 y temperatura  $25^\circ\text{C}$ .

La condición de radiación cifrada en  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  puede equipararse a un mediodía a pleno sol, pudiéndose alcanzar valores más altos en lugares con atmósfera limpia y nula contaminación. En la figura siguiente se muestra la curva característica tensión-intensidad de un módulo fotovoltaico.

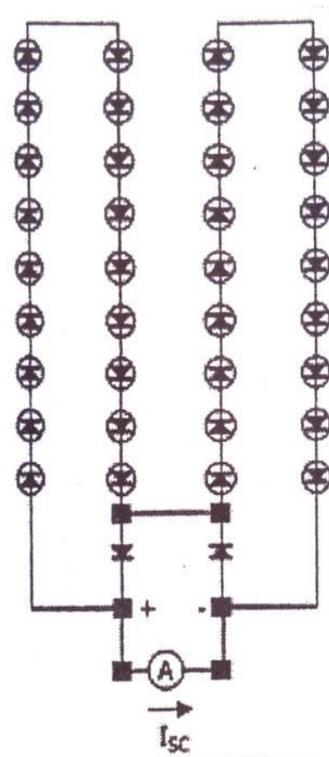
**Figura 3.9.** Curva característica tensión-intensidad de un módulo fotovoltaico.



Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.2.3.1. Corriente de Cortocircuito (Isc)

Constituye la máxima corriente que puede obtenerse del módulo. Se produce cuando la tensión entre sus bornes es cero (potencia cero). Para células de 100 mm de diámetro, para una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> su intensidad aproximada es de 2,5 A. Se medirá con un amperímetro conectado directamente entre los polos positivo y negativo.

**Figura 3.10.** Medición de Corriente de Cortocircuito ( $I_{sc}$ )

Elaborado por el de quipo de trabajo

### 3.2.3.2. Tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ )

Es la máxima tensión que puede dar un módulo. Su valor oscila según el tipo de construcción interior de la célula, en las células de silicio de tipo medio se sitúa alrededor de 0,6 V.

Se trata de la tensión que se mediría con un voltímetro conectado directamente entre los polos positivo y negativo.

### 3.2.3.3. Potencia máxima o de pico ( $P_{m\acute{a}x}$ )

Es la máxima potencia que puede suministrar el módulo. Se alcanza en un punto  $I_{P_{max}}$  y  $V_{P_{max}}$  tal que su producto es máximo. Es función de radiación incidente.

#### 3.2.3.4. Corriente nominal de la Célula

Corriente que entrega la célula a potencia máxima, bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura.

#### 3.2.3.5. Tensión nominal de la célula

Tensión que entrega la célula cuando la potencia alcanza su valor máximo, bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura.

#### 3.2.3.6. Potencia nominal de pico ( $W_P$ )

Es la potencia proporcionado al recibir el panel una irradiación en condiciones estándar. El nombre de “pico” hace referencia a que, en las medidas reales, una intensidad de  $1000 \text{ W/m}^2$  constituye un pico máximo. La potencia real producido por el panel será inferior a la potencia nominal pico.

#### 3.2.3.7. Factor de forma (FF)

Es un parámetro útil que refleja la calidad de la célula fotovoltaica. Su valor es siempre menor que la unidad.

Normalmente en las células comerciales, el factor de forma está comprendido entre 0,7 y 0,8; teniendo las de silicio monocristalino mayor valor que las células de silicio policristalino. Se determina por la siguiente expresión:

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} \quad (3.1)$$

$$FF = \frac{I_{\max} \cdot V_{\max}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} \quad (3.2)$$

### 3.2.3.8. Eficiencia ( $\eta$ )

La eficiencia se expresa en porcentaje y define el funcionamiento o rendimiento de la célula solar. Mide la relación entre la potencia que se obtiene de la célula fotovoltaica y la potencia de la energía del sol que incide sobre el panel fotovoltaico.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{A \cdot E} \quad (3.3)$$

El cambio de la intensidad de la radiación solar supone una variación de la corriente de salida sea cual sea la tensión, es decir, la corriente varía proporcionalmente con la radiación, manteniéndose constante la tensión.

La exposición del módulo al sol aumenta su temperatura, produciendo un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mayor en proporción del voltaje, el efecto total es que la potencia del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DETERMINACIÓN DE LA INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO

La inclinación y orientación óptima de los paneles fotovoltaicos necesitaría que estuvieran en todo momento perpendiculares a la “línea imaginaria” que una el sol con la instalación fotovoltaica. Esto es lo que sucede en las instalaciones con seguidor de dos ejes, ya que en ese caso la instalación se mueve siguiendo el movimiento del sol a lo largo del día. Pero las instalaciones fijas, como la nuestra deben orientarse para tratar de aprovechar al máximo la energía recibida del sol.

La prueba de medición de parámetros del sistema de energía solar fotovoltaico se realizó en el frontis de la universidad nacional del altiplano (Al frente de la escuela de post grado de la UNA-PUNO). El cual está próximo a la Estación Meteorológico de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas.

##### 4.1.1. Ángulo de Inclinación

Son de importancia las posiciones del sol al amanecer, al mediodía y al atardecer en las estaciones y en los hemisferios. Tenemos que considerar que para aprovechar más energía solar es pertinente saber ubicar el panel fotovoltaico correctamente en posición lo más perpendicular a los rayos solares, principalmente. Por lo tanto, el panel solar utilizado en el desarrollo de la tesis se instaló con un ángulo de inclinación respecto de la horizontal en el terreno, igual al valor de la latitud de Puno.

Las coordenadas geográficas de Puno son:

Latitud : 15,8422°

Longitud : 70,0199°

Asumimos para el desarrollo de la tesis una inclinación del panel fotovoltaico de 16°.

#### 4.1.2. Orientación

El panel fotovoltaico considerando que Puno está situado en el hemisferio sur, lo orientamos en la dirección del norte geográfico.

Para determinar el norte geográfico que no coincide con el norte magnético que es determinado con la brújula, se siguió el siguiente procedimiento experimental:

Alrededor de las 10:00 AM se clavó una varilla de 2 m en la tierra que proporcionó una sombra con cuya longitud como radio se trazó un círculo marcando el punto A, la sombra y el punto A de referencia fueran cambiando de posición hasta proyectarse en la tarde en la posición opuesta, punto b; uniendo el punto A y b, y a partir del punto medio se trazó una perpendicular al pie de la varilla, la que nos determinó la dirección del norte geográfico, como se observa en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3. Concluyéndose que la variación en grados entre el norte magnético y geográfico es aproximadamente de 7 grados; valor que se utilizó para orientar el panel fotovoltaico, variando 7 grados con respecto al norte magnético determinado por la brújula.

**Figura 4.1.** Proyección de la sombra de la varilla para ubicar el punto A.



Elaborado por el equipo de trabajo

**Figura 4.2.** Trazado del círculo con el radio determinado por el punto A.



Elaborado por el equipo de trabajo

**Figura 4.3.** Determinación experimental del norte geográfico.



Elaborado por el equipo de trabajo

#### **4.2. MEDICIÓN DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN PUNO**

Fueron medidos por la Estación Meteorológica de la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas, el parámetro necesario para la eficiencia es la radiación solar expresada en  $W/m^2$ . La estación automática mide los parámetros cada 5 min. (ver anexo).

Se midieron durante cuatro días del mes de diciembre del 2018, como se muestra en la tabla 4.1 y tabla 4.2.

**Tabla 4.1.** Parámetros meteorológicos en Puno – diciembre 2018

Fecha	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Velocidad viento (m/S)	Dirección del viento	Presión atmosférica (bar)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	Radiación Ultravioleta (UV)
12/12/2018	10:30 AM	16,7	9,7	W	10009	1013	13,7
12/12/2018	11:00 AM	17,1	11,3	WNW	1000,4	1041	14,6
12/12/2018	11:30 AM	18,0	8,0	WSW	999,9	1057	15,0
12/12/2018	12:00 PM	18,6	14,5	W	999,7	1051	14,8
12/12/2018	12:30 PM	18,6	14,5	W	999,6	1031	14,0
12/12/2018	1:00 PM	18,9	12,9	W	999,4	990	12,7
12/12/2018	1:30 PM	18,9	11,3	W	998,6	931	11,1
12/12/2018	2:00 PM	19,4	12,9	WSW	998,1	857	9,1
12/12/2018	2:30 PM	19,4	12,9	W	997,7	774	7,2
12/12/2018	3:00 PM	19,5	9,7	WSW	997,3	679	5,3
13/12/2018	10:30 AM	14,8	8,0	ENE	997,1	70	0,9
13/12/2018	11:00 AM	9,2	3,2	SE	996,9	180	2,2
13/12/2018	11:30 AM	11,1	1,6	E	997,0	300	3,4
13/12/2018	12:00 PM	12,3	0,0	E	996,8	276	3,2
13/12/2018	12:30 PM	12,5	4,8	SSW	995,5	133	1,3
13/12/2018	1:00 PM	14,0	9,7	SE	995,5	299	2,6
13/12/2018	1:30 PM	14,9	6,4	E	996,1	391	3,0
13/12/2018	2:00 PM	15,3	3,2	SE	996,1	198	1,4
13/12/2018	2:30 PM	14,9	12,9	E	996,3	61	0,1
13/12/2018	3:00 PM	12,9	8,0	E	996,3	84	0,5

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 4.2. Parámetros meteorológicos en Puno – diciembre 2018

Fecha	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Velocidad viento (m/S)	Dirección del viento	Presión atmosférica (bar)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	Radiación Ultravioleta (UV)
19/12/2018	10:30 AM	13,3	0	ENE	1005,4	364	7,3
19/12/2018	11:00 AM	13,9	4,8	SE	1004,9	1207	15,6
19/12/2018	11:30 AM	14,6	1,6	SE	1004,5	1275	14,9
19/12/2018	12:00 PM	14,2	8,0	WSW	1003,7	1201	14,7
19/12/2018	12:30 PM	14,6	1,6	ESE	1003,2	354	7,6
19/12/2018	1:00 PM	15,2	8,0	WSW	1002,6	190	5,0
19/12/2018	1:30 PM	15,0	9,7	WNW	1001,7	341	5,6
19/12/2018	2:00 PM	14,7	8,0	WSW	1000,6	316	4,8
19/12/2018	2:30 PM	14,3	12,9	WSW	999,9	338	4,9
19/12/2018	3:00 PM	14,8	8,0	W	999,2	724	5,3
20/12/2018	10:30 AM	12,7	1,6	W	1002,9	774	9,3
20/12/2018	11:00 AM	14,1	8,0	WSW	1002,4	1023	13,3
20/12/2018	11:30 AM	13,9	12,9	W	1001,7	754	10,3
20/12/2018	12:00 PM	14,5	6,4	WSW	1001,4	1201	14,6
20/12/2018	12:30 PM	14,7	12,9	WSW	1001,0	1241	15,0
20/12/2018	1:00 PM	14,4	9,7	WSW	1000,6	524	6,7
20/12/2018	1:30 PM	14,4	6,4	S	999,9	501	6,7
20/12/2018	2:00 PM	14,5	1,6	WNW	999,4	334	3,8
20/12/2018	2:30 PM	15,1	3,2	WSW	998,6	541	5,0
20/12/2018	3:00 PM	14,8	1,6	WSW	997,9	328	2,9

Elaborado por el equipo de trabajo

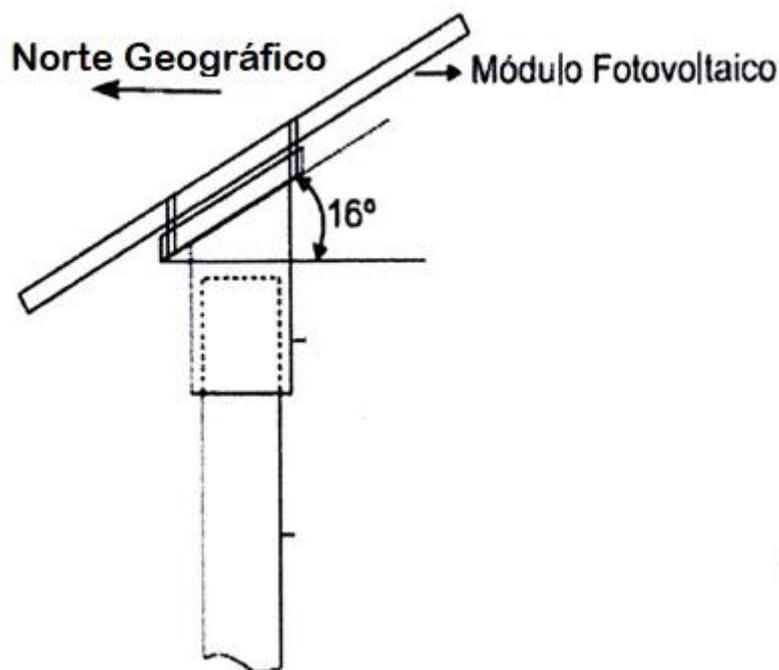
#### 4.3. DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR CONSIDERANDO LA ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO

A partir de los valores de la radiación solar medidos por la estación meteorológica, determinamos la radiación solar real que incide sobre el panel fotovoltaico considerando su orientación e inclinación (Figura 4.4).

Orientación : Norte geográfico

Inclinación :  $16^\circ$

**Figura 4.4.** Orientación e inclinación del panel fotovoltaico.



Elaborado por el equipo de trabajo

Para el cálculo se empleó el Software gratis del INTERNET [www.ujaen.es](http://www.ujaen.es) de la Universidad de Jaen de España, adaptándola al cálculo del día por día del mes de diciembre (porque debe considerar las coordenadas solares y geográficas en función de la latitud e inclinación del panel en Puno y el ángulo azimutal para el norte geográfico de  $180^\circ$ ).

Se trabajó con una inclinación del panel fotovoltaico de  $16^\circ$ , latitud de Puno  $15,8422^\circ$ , la reflexividad de los alrededores del panel 0,2 (concreto) y el ángulo azimutal de  $180^\circ$  para el norte geográfico.

Se muestran los primeros cálculos de las radiaciones solares para el panel inclinado, de los cuatro días de diciembre en los cuales se hizo las mediciones respectivas (12, 13, 19 y 20 de diciembre). Y en la tabla 4.7 las 40 radiaciones solares que se emplearán en el cálculo de la eficiencia del panel fotovoltaico.

**Tabla 4.3.** Cálculo de la radiación solar para el día 12/12/2018 a las 10:30 AM

**CÁLCULO DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE ARBITRARIAMENTE ORIENTADAS E INCLINADAS.**

**INSTRUCCIONES:**

- En este apartado se puede calcular el valor de la irradiación diaria media mensual a cualquier inclinación de los paneles y con cualquier orientación de estos. Para ello es preciso tener en cuenta las siguientes instrucciones: En la tabla de abajo en las celdas correspondientes a los meses se ha de introducir el valor de la irradiación diaria media mensual, medido en Wh/m<sup>2</sup>.
- En la celda de latitud, se deberá introducir esta expresada en grados.
- En el apartado de inclinación se introducirá esta expresada en grados teniendo en cuenta que cero grados es una superficie horizontal.
- En Reflexividad, se debe introducir un valor de entre cero y uno, ya que este valor expresa la cantidad de radiación que llega al entorno del panel y es reflejada por el suelo paredes, etc. Si no se conoce con exactitud se puede considerar cero. Un valor orientativo puede ser 0.2
- En el apartado acimut se introducirá la orientación del panel, sabiendo que un acimut de cero grados es una orientación al sur, un acimut de +90° es una inclinación al oeste y un valor de -90° nos indica una orientación al este.
- Todas las medidas calculadas vienen expresadas en Wh/m<sup>2</sup>.

---

1

<b>ENERO</b>	<input type="text"/>	<b>FEBRERO</b>	<input type="text"/>
<b>MARZO</b>	<input type="text"/>	<b>ABRIL</b>	<input type="text"/>
<b>MAYO</b>	<input type="text"/>	<b>JUNIO</b>	<input type="text"/>
<b>JULIO</b>	<input type="text"/>	<b>AGOSTO</b>	<input type="text"/>
<b>SEPTIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>OCTUBRE</b>	<input type="text"/>
<b>NOVIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>DICIEMBRE</b>	1013

Inclinación de los paneles (B)	<input type="text" value="16"/>	
Considerar como LATITUD del Lugar Ejemplo: Latitud de Jaén = 37.5°	<input type="text" value="15.8422"/>	<input type="button" value="CALCULAR"/>
REFLEXIVIDAD	<input type="text" value="0.2"/>	
ACIMUT(a)	<input type="text" value="180"/>	<input type="button" value="RESET"/>

---

2

**IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA ANUAL**

	R. DIRECTA	R. DIFUSA	R. ALBEDO	G. GLOBAL
ENERO	NaN	NaN	NaN	NaN
FEBRERO	NaN	NaN	NaN	NaN
MARZO	NaN	NaN	NaN	NaN
ABRIL	NaN	NaN	NaN	NaN
MAYO	NaN	NaN	NaN	NaN
JUNIO	NaN	NaN	NaN	NaN
JULIO	NaN	NaN	NaN	NaN
AGOSTO	NaN	NaN	NaN	NaN
SEPTIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
OCTUBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
NOVIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
DICIEMBRE	847	847	4	956

GRUPO IDEA © 2004 — I+D en Energía Solar y Automática.

Fuente: [www.ujaen.es/investiga/solar](http://www.ujaen.es/investiga/solar)

89

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

**Tabla 4.4.** Cálculo de la radiación solar para el día 13/12/2018 a las 10:30 AM

**CÁLCULO DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE ARBITRARIAMENTE ORIENTADAS E INCLINADAS.**

**INSTRUCCIONES:**

- En este apartado se puede calcular el valor de la irradiación diaria media mensual a cualquier inclinación de los paneles y con cualquier orientación de estos. Para ello es preciso tener en cuenta las siguientes instrucciones: En la tabla de abajo en las celdas correspondientes a los meses se ha de introducir el valor de la irradiación diaria media mensual, medido en Wh/m<sup>2</sup>.
- En la celda de latitud, se deberá introducir esta expresada en grados.
- En el apartado de inclinación se introducirá esta expresada en grados teniendo en cuenta que cero grados es una superficie horizontal.
- En Reflexividad, se debe introducir un valor de entre cero y uno, ya que este valor expresa la cantidad de radiación que llega al entorno del panel y es reflejada por el suelo paredes, etc. Si no se conoce con exactitud se puede considerar cero. Un valor orientativo puede ser 0.2
- En el apartado acimut se introducirá la orientación del panel, sabiendo que un acimut de cero grados es una orientación al sur, un acimut de +90° es una inclinación al oeste y un valor de -90° nos indica una orientación al este.
- Todas las medidas calculadas vienen expresadas en Wh/m<sup>2</sup>.

---

1

<b>ENERO</b>	<input type="text"/>	<b>FEBRERO</b>	<input type="text"/>
<b>MARZO</b>	<input type="text"/>	<b>ABRIL</b>	<input type="text"/>
<b>MAYO</b>	<input type="text"/>	<b>JUNIO</b>	<input type="text"/>
<b>JULIO</b>	<input type="text"/>	<b>AGOSTO</b>	<input type="text"/>
<b>SEPTIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>OCTUBRE</b>	<input type="text"/>
<b>NOVIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>DICIEMBRE</b>	<input type="text" value="70"/>

Inclinación de los paneles (B)	<input type="text" value="16"/>	
Considerar como LATITUD del Lugar Ejemplo: Latitud de Jaén = 37.5°	<input type="text" value="15.8422"/>	<input type="button" value="CALCULAR"/>
REFLEXIVIDAD	<input type="text" value="0.2"/>	
ACIMUT(a)	<input type="text" value="180"/>	<input type="button" value="RESET"/>

---

2

**IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA ANUAL**

	R. DIRECTA	R. DIFUSA	R. ALBEDO	G. GLOBAL
ENERO	NaN	NaN	NaN	NaN
FEBRERO	NaN	NaN	NaN	NaN
MARZO	NaN	NaN	NaN	NaN
ABRIL	NaN	NaN	NaN	NaN
MAYO	NaN	NaN	NaN	NaN
JUNIO	NaN	NaN	NaN	NaN
JULIO	NaN	NaN	NaN	NaN
AGOSTO	NaN	NaN	NaN	NaN
SEPTIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
OCTUBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
NOVIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
DICIEMBRE	2	68	0	70

GRUPO IDEA © 2004 — I+D en Energía Solar y Automática.

Fuente: [www.ujaen.es/investiga/solar](http://www.ujaen.es/investiga/solar)

**Tabla 4.5.** Cálculo de la radiación solar para el día 19/12/2018 a las 10:30 AM

**CÁLCULO DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE ARBITRARIAMENTE ORIENTADAS E INCLINADAS.**

**INSTRUCCIONES:**

- En este apartado se puede calcular el valor de la irradiación diaria media mensual a cualquier inclinación de los paneles y con cualquier orientación de estos. Para ello es preciso tener en cuenta las siguientes instrucciones: En la tabla de abajo en las celdas correspondientes a los meses se ha de introducir el valor de la irradiación diaria media mensual, medido en Wh/m<sup>2</sup>.
- En la celda de latitud, se deberá introducir esta expresada en grados.
- En el apartado de inclinación se introducirá esta expresada en grados teniendo en cuenta que cero grados es una superficie horizontal.
- En Reflexividad, se debe introducir un valor de entre cero y uno, ya que este valor expresa la cantidad de radiación que llega al entorno del panel y es reflejada por el suelo paredes, etc. Si no se conoce con exactitud se puede considerar cero. Un valor orientativo puede ser 0.2
- En el apartado acimut se introducirá la orientación del panel, sabiendo que un acimut de cero grados es una orientación al sur, un acimut de +90° es una inclinación al oeste y un valor de -90° nos indica una orientación al este.
- Todas las medidas calculadas vienen expresadas en Wh/m<sup>2</sup>.

---

1

<b>ENERO</b>	<input type="text"/>	<b>FEBRERO</b>	<input type="text"/>
<b>MARZO</b>	<input type="text"/>	<b>ABRIL</b>	<input type="text"/>
<b>MAYO</b>	<input type="text"/>	<b>JUNIO</b>	<input type="text"/>
<b>JULIO</b>	<input type="text"/>	<b>AGOSTO</b>	<input type="text"/>
<b>SEPTIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>OCTUBRE</b>	<input type="text"/>
<b>NOVIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>DICIEMBRE</b>	364

Inclinación de los paneles (B)	<input type="text" value="16"/>	
Considerar como LATITUD del Lugar Ejemplo: Latitud de Jaén = 37.5°	<input type="text" value="15.8422"/>	<input type="button" value="CALCULAR"/>
REFLEXIVIDAD	<input type="text" value="0.2"/>	
ACIMUT(a)	<input type="text" value="180"/>	<input type="button" value="RESET"/>

---

2

**IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA ANUAL**

	R. DIRECTA	R. DIFUSA	R. ALBEDO	G. GLOBAL
ENERO	NaN	NaN	NaN	NaN
FEBRERO	NaN	NaN	NaN	NaN
MARZO	NaN	NaN	NaN	NaN
ABRIL	NaN	NaN	NaN	NaN
MAYO	NaN	NaN	NaN	NaN
JUNIO	NaN	NaN	NaN	NaN
JULIO	NaN	NaN	NaN	NaN
AGOSTO	NaN	NaN	NaN	NaN
SEPTIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
OCTUBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
NOVIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
DICIEMBRE	18	339	1	358

GRUPO IDEA © 2004 — I+D en Energía Solar y Automática.

Fuente: [www.ujaen.es/investiga/solar](http://www.ujaen.es/investiga/solar)

91

Repositorio Institucional UNA-PUNO

No olvide citar esta tesis

**Tabla 4.6.** Cálculo de la radiación solar para el día 20/12/2018 a las 10:30 AM

**CÁLCULO DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE ARBITRARIAMENTE ORIENTADAS E INCLINADAS.**

**INSTRUCCIONES:**

- En este apartado se puede calcular el valor de la irradiación diaria media mensual a cualquier inclinación de los paneles y con cualquier orientación de estos. Para ello es preciso tener en cuenta las siguientes instrucciones: En la tabla de abajo en las celdas correspondientes a los meses se ha de introducir el valor de la irradiación diaria media mensual, medido en Wh/m<sup>2</sup>.
- En la celda de latitud, se deberá introducir esta expresada en grados.
- En el apartado de inclinación se introducirá esta expresada en grados teniendo en cuenta que cero grados es una superficie horizontal.
- En Reflexividad, se debe introducir un valor de entre cero y uno, ya que este valor expresa la cantidad de radiación que llega al entorno del panel y es reflejada por el suelo paredes, etc. Si no se conoce con exactitud se puede considerar cero. Un valor orientativo puede ser 0.2
- En el apartado acimut se introducirá la orientación del panel, sabiendo que un acimut de ce grados es una orientación al sur, un acimut de +90° es una inclinación al oeste y un valor de -90° nos indica una orientación al este.
- Todas las medidas calculadas vienen expresadas en Wh/m<sup>2</sup>.

---

**1**

<b>ENERO</b>	<input type="text"/>	<b>FEBRERO</b>	<input type="text"/>
<b>MARZO</b>	<input type="text"/>	<b>ABRIL</b>	<input type="text"/>
<b>MAYO</b>	<input type="text"/>	<b>JUNIO</b>	<input type="text"/>
<b>JULIO</b>	<input type="text"/>	<b>AGOSTO</b>	<input type="text"/>
<b>SEPTIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>OCTUBRE</b>	<input type="text"/>
<b>NOVIEMBRE</b>	<input type="text"/>	<b>DICIEMBRE</b>	<input type="text" value="774"/>

Inclinación de los paneles (B)	<input type="text" value="16"/>	
Considerar como LATITUD del Lugar Ejemplo: Latitud de Jaén = 37.5°	<input type="text" value="15.8422"/>	<input type="button" value="CALCULAR"/>
REFLEXIVIDAD	<input type="text" value="0.2"/>	
ACIMUT(a)	<input type="text" value="180"/>	<input type="button" value="RESET"/>

---

**2**

IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA ANUAL

	R. DIRECTA	R. DIFUSA	R. ALBEDO	G. GLOBAL
ENERO	NaN	NaN	NaN	NaN
FEBRERO	NaN	NaN	NaN	NaN
MARZO	NaN	NaN	NaN	NaN
ABRIL	NaN	NaN	NaN	NaN
MAYO	NaN	NaN	NaN	NaN
JUNIO	NaN	NaN	NaN	NaN
JULIO	NaN	NaN	NaN	NaN
AGOSTO	NaN	NaN	NaN	NaN
SEPTIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
OCTUBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
NOVIEMBRE	NaN	NaN	NaN	NaN
DICIEMBRE	64	675	3	742

GRUPO IDEA © 2004 — I+D en Energía Solar y Automática.

Fuente: [www.ujaen.es/investiga/solar](http://www.ujaen.es/investiga/solar)

**Tabla 4.7.** Cálculo de las radiaciones solares considerando la inclinación y orientación del panel fotovoltaico.

Hora	Día: 12/12/2018		Día: 13/12/2018		Día: 19/12/2018		Día: 20/12/2018	
	Radiación solar Estación Meteorológica (W/m <sup>2</sup> )	Radiación solar considerando inclinación y orientación (W/m <sup>2</sup> )	Radiación solar Estación Meteorológica (W/m <sup>2</sup> )	Radiación solar considerando inclinación y orientación (W/m <sup>2</sup> )	Radiación solar Estación Meteorológica (W/m <sup>2</sup> )	Radiación solar considerando inclinación y orientación (W/m <sup>2</sup> )	Radiación solar Estación Meteorológica (W/m <sup>2</sup> )	Radiación solar considerando inclinación y orientación (W/m <sup>2</sup> )
10:30 AM	1013	956	70	70	364	358	771	742
11:00 AM	1041	981	180	180	1207	1125	1023	965
11:30 AM	1057	995	300	297	1275	1184	754	724
12:00 PM	1051	989	276	274	1201	1120	1201	1120
12:30 PM	1031	972	133	133	354	349	1241	1155
1:00 PM	990	936	299	296	190	190	524	510
1:30 PM	931	883	391	384	341	336	501	489
2:00 PM	857	817	198	197	316	312	334	330
2:30 PM	774	742	61	61	338	333	541	526
3:00 PM	679	655	84	84	724	696	328	324

Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PANEL FOTOVOLTAICO

Se determina a través de la ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Potencia general en el panel fotovoltaico}}{\text{Potencia de la radiación solar}}$$

$$\eta = \frac{P_{\max}}{A \cdot E} = \frac{P_{\text{fotovoltaico}}}{P_{\text{solar}}}$$

##### 4.4.1. Cálculo de Potencia de la radiación solar ( $P_{\text{solar}}$ )

La potencia solar que incide sobre el panel fotovoltaico considerando su orientación e inclinación está dado por la expresión:

$$P_{\text{solar}} = A \cdot E$$

Donde: A: área del panel fotovoltaico en  $\text{m}^2$

E: radiación solar sobre el panel  $\text{W}/\text{m}^2$

Por características técnicas del panel fotovoltaico el área es igual a:

$$A = 766 \text{ mm} \times 676 \text{ mm}$$

$$A = 0,517816 \text{ m}^2$$

Los cálculos para las radiaciones solares de los días 12, 13, 19 y 20 de diciembre del 2018, para las 10:30 AM del 12/12/2018, el cálculo será el siguiente:

$$P_{\text{solar}} = A \cdot E$$

$$P_{\text{solar}} = 0,517816 \text{ m}^2 \cdot 956 \text{ W}/\text{m}^2$$

$$P_{solar} = 495,03 \text{ W}$$

Análogamente se realizan los cálculos para las siguientes radiaciones, los que se tabulan en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.8.** Cálculos de las potencias solares

Hora	12/12/2018	13/12/2018	19/12/2018	20/12/2018
	$P_{solar}$ (W)	$P_{solar}$ (W)	$P_{solar}$ (W)	$P_{solar}$ (W)
10:30 AM	495,03	36,25	185,38	384,22
11:00 AM	507,98	93,21	582,54	499,69
11:30 AM	515,23	153,79	613,09	374,90
12:00 PM	512,12	141,88	579,95	579,95
12:30 PM	503,32	68,87	180,72	598,08
1:00 PM	484,08	153,27	98,39	264,09
1:30 PM	457,23	198,84	173,99	253,21
2:00 PM	423,06	102,01	161,56	170,88
2:30 PM	384,22	31,59	172,43	272,37
3:00 PM	339,17	43,50	360,40	167,77

Elaborado por el equipo de trabajo

**4.4.2. Cálculo de la potencia generada en el panel fotovoltaico ( $P_{fotovoltaica}$ )**

La potencia generada en el panel fotovoltaico se determinó con la intensidad y voltaje medidos en el panel con un multímetro, para las 10 horas respectivas de los cuatro días del mes de diciembre.

$$P_{fotovoltaica} = V \cdot I$$

**Tabla 4.9.** Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 12/12/2018

12/12/2018			
Hora	Voltaje (V)	Intensidad (A)	P <sub>fotovoltaica</sub> (W)
10:30 AM	17,20	3,20	55,04
11:00 AM	19,40	2,90	56,26
11:30 AM	17,00	3,20	54,40
12:00 PM	18,30	3,00	54,90
12:30 PM	16,90	3,10	52,39
1:00 PM	17,20	3,20	55,04
1:30 PM	17,30	3,00	51,90
2:00 PM	17,70	2,80	49,56
2:30 PM	17,50	2,90	50,75
3:00 PM	18,10	2,40	43,44

Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 4.10.** Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 13/12/2018

13/12/2018			
Hora	Voltaje (V)	Intensidad (A)	P <sub>fotovoltaica</sub> (W)
10:30 AM	21,50	0,20	4,30
11:00 AM	21,80	0,60	13,08
11:30 AM	21,10	0,90	18,99
12:00 PM	20,90	0,80	16,72
12:30 PM	21,00	0,40	8,40
1:00 PM	21,40	1,00	21,40
1:30 PM	20,90	1,20	25,08
2:00 PM	20,70	0,60	12,42
2:30 PM	21,50	0,20	4,30
3:00 PM	19,90	0,30	5,97

Elaborado por equipo de trabajo

**Tabla 4.11.** Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 19/12/2018

19/12/2018			
Hora	Voltaje (V)	Intensidad (A)	P <sub>fotovoltaica</sub> (W)
10:30 AM	20,10	1,20	24,12
11:00 AM	21,50	2,70	58,05
11:30 AM	20,00	1,90	38,00
12:00 PM	22,10	2,70	59,67
12:30 PM	21,50	1,10	23,65
1:00 PM	21,60	0,60	12,96
1:30 PM	21,00	1,20	25,20
2:00 PM	21,40	1,10	23,54
2:30 PM	21,30	1,00	21,30
3:00 PM	19,50	2,30	44,85

Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 4.12.** Cálculos de las potencias fotovoltaicas del día 20/12/2018

20/12/2018			
Hora	Voltaje (V)	Intensidad (A)	P <sub>fotovoltaica</sub> (W)
10:30 AM	18,90	2,60	49,14
11:00 AM	20,10	2,70	54,27
11:30 AM	21,10	2,70	56,97
12:00 PM	21,00	2,50	52,50
12:30 PM	21,20	2,60	55,12
1:00 PM	20,50	1,80	36,90
1:30 PM	20,30	1,50	30,45
2:00 PM	20,40	1,10	22,44
2:30 PM	20,10	1,70	34,17
3:00 PM	20,50	1,10	22,55

Elaborado por el equipo de trabajo

## 4.4.3. Cálculo de la eficiencia del panel fotovoltaico

$$\eta = \frac{P_{\text{fotovoltaico}}}{P_{\text{solar}}}$$

**Tabla 4.13.** Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 12/12/2018

12/12/2018			
Hora	P <sub>fotovoltaica</sub> (W)	P <sub>solar</sub> (W)	Eficiencia (η) (%)
10:30 AM	55,04	495,03	11,12
11:00 AM	56,26	507,98	11,08
11:30 AM	54,40	515,23	10,56
12:00 PM	54,90	512,12	10,72
12:30 PM	52,39	503,32	10,41
1:00 PM	55,04	484,08	11,37
1:30 PM	51,90	457,23	11,35
2:00 PM	49,56	423,06	11,71
2:30 PM	50,75	384,22	13,21
3:00 PM	43,44	339,17	12,81

Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 4.14.** Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 13/12/2018

<b>13/12/2018</b>			
Hora	$P_{\text{fotovoltaica}}$ (W)	$P_{\text{solar}}$ (W)	Eficiencia ( $\eta$ ) (%)
10:30 AM	4,30	36,25	11,86
11:00 AM	13,08	93,21	14,03
11:30 AM	18,99	153,79	12,35
12:00 PM	16,72	141,88	11,78
12:30 PM	8,40	68,87	12,20
1:00 PM	21,40	153,27	13,61
1:30 PM	25,08	198,84	12,61
2:00 PM	12,42	102,01	12,18
2:30 PM	4,30	31,59	13,61
3:00 PM	5,97	43,50	13,72

Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 4.15.** Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 19/12/2018

<b>19/12/2018</b>			
Hora	$P_{\text{fotovoltaica}}$ (W)	$P_{\text{solar}}$ (W)	Eficiencia ( $\eta$ ) (%)
10:30 AM	24,12	185,38	13,01
11:00 AM	58,05	582,54	9,96
11:30 AM	38,00	613,09	9,20
12:00 PM	59,67	579,95	10,29
12:30 PM	23,65	180,72	13,09
1:00 PM	12,96	98,39	13,17
1:30 PM	25,20	173,99	14,48
2:00 PM	23,54	161,56	14,57
2:30 PM	21,30	172,43	12,35
3:00 PM	44,85	360,40	12,44

Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 4.16.** Cálculos de las eficiencias del panel fotovoltaico del día 20/12/2018

20/12/2018			
Hora	$P_{\text{fotovoltaica}}$ (W)	$P_{\text{solar}}$ (W)	Eficiencia ( $\eta$ ) (%)
10:30 AM	49,14	384,22	12,79
11:00 AM	54,27	499,69	10,86
11:30 AM	56,97	374,90	10,14
12:00 PM	52,50	579,95	11,05
12:30 PM	55,12	598,08	9,22
1:00 PM	36,90	264,09	13,97
1:30 PM	30,45	253,21	12,03
2:00 PM	22,44	170,88	13,13
2:30 PM	34,17	272,37	12,55
3:00 PM	22,55	167,77	13,44

Elaborado por el equipo de trabajo

Los resultados obtenidos a partir de los datos experimentales medidos durante los días 12, 13, 19 y 20 de diciembre del 2018 son aceptables, considerando que dependen en principio de una buena medición de los parámetros experimentales: la radiación solar incidente en el panel fotovoltaico y, la corriente y voltaje generado en el panel para dicha radiación.

La eficiencia del panel fotovoltaico nos indica qué porcentaje de la energía solar incidente en el panel es convertida a energía eléctrica.

La eficiencia fue medida para cuatro días del mes de diciembre del 2018; evaluándose la radiación solar desde las 10:30 AM hasta las 3:00 PM con intervalos de tiempo de 30 minutos. El promedio de la eficiencia para el día 12 fue de 11,43%; para el

día 13 de 12,80%; para el día 19 de 12,26% y para el día 20 de 11,92%. Determinándose un promedio para las 40 eficiencias calculadas de 12,10%, que la podemos validar de aceptable, considerando que las características técnicas del panel SUNBE SOLAR especifica 15,00% pero bajo ciertas condiciones de prueba estándar.

#### 4.4.4. Discusión

La determinación de la radiación incidente en el panel fotovoltaico es fundamental en el cálculo de la eficiencia, en el proyecto de investigación se previó este aspecto considerando las mediciones de la radiación y otros parámetros a través de la Estación Meteorológica de la Escuela Profesional de Físico Matemáticas de la UNA y, más aún se precisó la incidencia de la radiación solar sobre el panel empleando un software de la Universidad de Jaén de España, que considera la orientación e inclinación del panel fotovoltaico a través de la latitud del lugar (inclinación), el ángulo acimutal o azimutal (orientación) y la reflexividad reinante en el entorno donde está instalado el panel, en nuestro caso construcción de concreto ( $\rho = 0,2$ ). Con estas consideraciones y adaptaciones del software a nuestras mediciones, las radiaciones solares sobre el panel son relativamente exactas.

De la misma manera las mediciones de la corriente y voltaje de la energía eléctrica generada en el panel se realizaron con el cuidado y precisión requeridos.

Las variaciones de las mediciones de la radiación solar para la estación meteorológica se explican por los días soleados, nublados y lluviosos que son normales durante el mes de diciembre en el altiplano puneño, lo que tienen una relación directa con la energía eléctrica generada y por ende en la eficiencia del panel.

Otro aspecto fundamental que influye en la diferencia de las eficiencias calculadas y la eficiencia especificada del panel, es que dicha eficiencia se calculó bajo condiciones de prueba estándar: radiación solar de  $1000 \text{ W/m}^2$  y una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ ; que lógicamente no son los parámetros experimentales bajo los cuales se calcularon las eficiencias.

Según Jesús Huaman Romoacca (2018), en su tesis titulada “Estudio comparativo de potencia generada por paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos en la Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco”, determino la eficiencia calculada de un panel policristalino en la ciudad del Cusco que esta con una eficiencia de 1.69% por debajo de las especificaciones del fabricante y en comparación de nuestros resultados determinamos un 2.9% promedio de eficiencia por debajo de las condiciones del fabricante.

## CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto de tesis la metodología experimental empleada nos permitió realizar una investigación óptima en el campo de la energía solar, la cual implicó que se cumplieran los objetivos trazados convencionalmente.

- Se diseñó un sistema de medición de los parámetros ambientales o climatológicos, específicamente de la radiación solar que incide en el panel fotovoltaico que es fundamental para su conversión en energía eléctrica. Para la generación eficiente de energía eléctrica en el panel fotovoltaico se consideró su orientación hacia el norte y su inclinación de  $16^\circ$  coincidente con la latitud de Puno, para que el ángulo de incidencia de los rayos solares sea el óptimo, ya que la buena instalación del panel es fundamental para la eficiencia del mismo. Para lo cual se usó las mediciones de radiación solar, temperatura ambiente, velocidad y orientación del viento y presión atmosférica de la estación meteorológica de la escuela Profesional de Físico Matemáticas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Las mediciones eléctricas en el panel fotovoltaico se realizaron “sin carga”, es decir solo el panel fotovoltaico, las mediciones de los valores de corriente y voltaje se realizaron desde las 10:30 AM hasta las 3:00 PM cada media hora para cada radiación solar respectiva.
- Se determinó y calculó experimentalmente el potencial de energía solar que incide en el panel fotovoltaico a partir de las radiaciones solares medidas por la estación meteorológica automática de la Escuela Profesional de Físico Matemáticas de la UNA y, a través de un software de Internet calculamos la radiación incidente exacta sobre el plano inclinado del panel, considerando en el cálculo la orientación norte, la

- inclinación de  $16^\circ$  (Latitud de Puno), la reflexividad del entorno del panel 0,2 (concreto) y el ángulo azimutal de  $180^\circ$ , que determinarán valores de radiaciones solares exactos para los días de diciembre en los que se midieron los parámetros solares y eléctricos; con particulares climáticos de días soleados, parcialmente soleados y días nublados que corresponden a esa época del año. Se determinó también, experimentalmente la variación de  $7^\circ$  entre el norte magnético y el norte geográfico para la instalación del modelo del panel fotovoltaico, aspecto fundamental para su eficiencia óptima.
- La conclusión final del desarrollo de investigación fue la determinación de la eficiencia del panel fotovoltaico en la ciudad de Puno, es decir qué porcentaje de la potencia solar que incide en el panel fotovoltaico fue convertida en potencia eléctrica fotovoltaica, las eficiencias promedio calculadas para los días 12, 13, 19 y 20 de diciembre del 2018 fueron de 11,43%, 12,80%, 12,26% y 11,92% respectivamente. Eficiencias experimentales aceptables, considerando que por especificaciones técnicas el panel tiene una eficiencia de 15% bajo condiciones de prueba estándar: radiación solar  $1000 \text{ W/m}^2$  y temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Se comprueba que la eficiencia de los paneles solares de tecnología fotovoltaica, no solamente depende de sus especificaciones de fabricación, sino que es afectada por las condiciones ambientales particulares de Puno, que son determinantes en la magnitud de la radiación solar incidente que es la energía que tiene que ser transformada eficientemente en eléctrica por el panel fotovoltaico. La eficiencia en condiciones reales de instalación, las cuales difieren con las condiciones estándar en las que se definen las especificaciones de los paneles, se reducen con las variaciones climáticas de la ciudad de Puno. Se comprueba que la tecnología fotovoltaica del panel tipo

policristalino en cuanto a eficiencia está alrededor de 3% a 4% por debajo de la especificación del fabricante.

## RECOMENDACIONES

- Como trabajo de investigación futuro propuesto, sería importante realizar teniendo en cuenta la metodología experimental desarrollada en la tesis, una investigación similar pero en un panel fotovoltaico monocristalino para comparar la eficiencia de estos dos tipos de paneles.
- Se recomienda como una investigación académica diseñar y construir un sistema fotovoltaico con seguimiento de la posición del sol y compararlo con un sistema fotovoltaico fijo, con la finalidad de determinar la eficiencia de ambos sistemas, considerando que la óptima instalación de estos, juega un papel importante, ya que mejora la eficiencia del mismo.
- Un posterior trabajo de investigación experimental que debería emprenderse es realizar el mismo procedimiento de estudio con los datos recolectados, tanto de las variables meteorológicas como de la potencia eléctrica generada por el panel solar, durante un año, puesto que cuando un panel solar es sometido a variaciones drásticas o repentinas como sucede en la ciudad de Puno, se debe comprobar que el sistema presentaría una variación de su punto de máxima potencia, esto se debe a la relación que existe entre la radiación solar, la temperatura y la resistencia, cuyo efecto es la variación de la curva corriente – tensión.
- Puesto que la temperatura de funcionamiento del panel fotovoltaico, desempeña un papel clave en el proceso de conversión de energía (eficiencia), se propone investigar cómo la baja temperatura de Puno, influye para regular la temperatura de los paneles fotovoltaicos puesto que en el diseño del panel se consideran técnicas

para controlar el aumento de la temperatura de los paneles durante su funcionamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Medina, M. (2010). Generación de Energía Eléctrica con sistemas fotovoltaicos conectados a la red. (pp. 10-31). Madrid. Editorial Abecedario.
- Méndez, J. (2007). Energía solar fotovoltaica. (pp. 93-115). Madrid. Editorial Fundación Confemetal.
- Martínez A. (2012). Dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid. Ediciones Parainfo.
- Duffie, J. & Beckman, W. (2013). Solar Engineering of thermal processes (pp 127-161). Estados Unidos, Editorial Wiley.
- Horn, M. (2006). Los retos energéticos del Perú. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. (pp. 10-24). Lima. CER-UNI.
- Espinoza, A. & Hom, M. (1992). Electrificación rural con sistemas fotovoltaicos (pp. 25-40). Lima - Perú. Publicación CER-UNI - CONYTEC.
- Holman, J. (2013). Métodos experimentales para Ingenieros (pp. 211- 252). México. Editorial McGraw Hill.
- Alonso, M. (2005). Sistemas fotovoltaicos (pp. 74-96). Bogotá. Editorial Era Solar. I
- Gasquet H. (2004). Conversión de luz solar en energía eléctrica, (pp. 88- 97). México. Editorial Solartronic.
- Núñez, T. & Cruz, V. (2013). Diseño de Sistemas de Energía Solar fotovoltaica - Aplicación en el Perú. (pp. 160-170). Lima. Revista Piadela XXI, vol. 3, N° 4, diciembre 2013.

- Servicio de Meteorología e Hidrología (2012). Atlas de energía solar del Perú. [Internet], Disponible en: <http://dger.minem.gob.pe/atlassolar.pdf>
- Lorenzo, E. (2007). Electricidad Solar: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos (pp. 121-139). Sevilla. Editorial PROGENSA.
- Hernández, R. & Fernández, C. (2010). Metodología de la Investigación. (pp. 118-137). México. Editorial McGraw Hill
- <http://www.ujaen.es/investiga/solar>
- <http://www.openelectrical.org/wiki/index.php>
- <http://www.pvpower.com/assets/measuring-pv-efficiency-solar-panels.pdf>
- <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos/>

ANEXOS

Anexo A: Información meteorológica de la Estación Meteorológica Automática de la Escuela Profesional de Cs. Físico Matemáticas UNA: Días 12, 13, 19 y 20 de diciembre del 2018.

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain Rate	Rain	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
11/12/2018	2:45 p.m.	14.6	14.7	14.4	42	1.8	8 WSW	12.9 WSW	0.67	12.9 WSW	14.3	13.2	12.9	16.6	1002.5	0	0	754	5.4	759	7.2	
11/12/2018	2:50 p.m.	14.7	14.8	14.7	44	2.6	6.4 WNW	12.9 W	0.54	12.9 W	14.7	13.4	13.4	17.3	1002.5	0	0	764	5.48	768	7.5	
11/12/2018	2:55 p.m.	14.9	15	14.8	44	2.7	6.4 WNW	17.7 W	0.54	17.7 W	14.9	14.9	13.6	17.8	1002.3	0	0	784	5.62	793	7.8	
11/12/2018	3:00 p.m.	15	15.1	14.9	43	2.5	6.4 W	12.9 W	0.54	12.9 W	15	13.6	13.6	18.3	1002.2	0	0	800	5.73	803	8.2	
11/12/2018	3:05 p.m.	15.1	15.2	15.1	43	2.6	6.4 W	11.3 W	0.54	11.3 W	15.1	13.7	13.7	18.7	1002.2	0	0	813	5.83	817	8.5	
11/12/2018	3:10 p.m.	15.4	15.6	15.3	41	2.2	4.8 W	11.3 W	0.4	11.3 W	15.4	13.9	13.9	19.3	1002.1	0	0	826	5.92	831	8.8	
11/12/2018	3:15 p.m.	15.7	15.8	15.6	39	1.8	6.4 W	17.7 WNW	0.54	17.7 WNW	15.7	14.2	14.2	19.9	1002	0	0	839	6.01	846	9.1	
11/12/2018	3:20 p.m.	15.9	15.9	15.9	39	2	8 WSW	16.1 WSW	0.67	16.1 WSW	15.9	14.4	14.4	20.6	1002	0	0	855	6.13	861	9.4	
11/12/2018	3:25 p.m.	15.9	15.9	15.9	38	1.6	8 WSW	17.7 WSW	0.67	17.7 WSW	15.9	14.3	14.3	20.9	1001.9	0	0	868	6.22	875	9.8	
11/12/2018	3:30 p.m.	15.9	15.9	15.9	38	1.6	6.4 WSW	16.1 SW	0.54	16.1 SW	15.9	14.3	14.3	21.4	1001.9	0	0	881	6.31	886	10.1	
11/12/2018	3:35 p.m.	15.9	16.1	15.9	37	1.3	4.8 WSW	9.7 WSW	0.4	9.7 WSW	15.9	14.3	14.3	21.8	1001.8	0	0	893	6.4	900	10.4	
11/12/2018	3:40 p.m.	16.2	16.3	16.1	37	1.4	4.8 W	16.1 W	0.4	16.1 W	16.2	14.5	14.5	22.5	1001.7	0	0	907	6.5	912	10.8	
11/12/2018	3:45 p.m.	16.4	16.4	16.3	37	1.6	8 WSW	14.5 W	0.67	14.5 W	16.4	14.7	14.7	23.3	1001.7	0	0	918	6.58	921	11	
11/12/2018	3:50 p.m.	16.4	16.4	16.4	36	1.3	8 WNW	16.1 WNW	0.67	16.1 WNW	16.4	14.7	14.7	23.8	1001.7	0	0	929	6.66	935	11.3	
11/12/2018	3:55 p.m.	16.4	16.4	16.3	37	1.6	8 WSW	19.3 S	0.67	19.3 S	16.4	14.7	14.7	24.4	1001.5	0	0	940	6.74	944	11.7	
11/12/2018	4:00 p.m.	16.4	16.5	16.3	36	1.3	6.4 WSW	14.5 SW	0.54	14.5 SW	16.4	14.7	14.7	24.9	1001.4	0	0	952	6.82	954	11.9	
11/12/2018	4:05 p.m.	16.6	16.6	16.5	38	2.2	9.7 WSW	19.3 W	0.8	19.3 W	16.6	14.9	14.9	25.8	1001.3	0	0	962	6.9	965	12.2	
11/12/2018	4:10 p.m.	16.4	16.6	16.4	39	2.4	8 WSW	19.3 W	0.67	19.3 W	16.4	14.9	14.9	26.4	1001.2	0	0	971	6.96	974	12.5	
11/12/2018	4:15 p.m.	16.4	16.4	16.4	39	2.4	8 WSW	16.1 W	0.67	16.1 W	16.4	14.9	14.9	27.1	1001.1	0	0	980	7.02	984	12.8	
11/12/2018	4:20 p.m.	16.4	16.5	16.4	38	2.1	8 WSW	17.7 WNW	0.67	17.7 WNW	16.4	14.8	14.8	27.7	1001	0	0	988	7.08	991	12.9	
11/12/2018	4:25 p.m.	16.6	16.6	16.5	39	2.5	8 W	16.1 WNW	0.67	16.1 WNW	16.6	15	15	28.6	1001	0	0	997	7.15	1000	13.2	
11/12/2018	10:26 a.m.	16.7	16.7	16.6	40	3	9.7 NW	12.9 W	0.8	12.9 W	16.7	15.2	15.2	18.7	1000.9	0	0	1006	7.21	1007	13.5	
12/12/2018	10:30 a.m.	16.7	16.7	16.7	37	1.9	9.7 W	12.9 WSW	0.8	12.9 WSW	16.7	15	15	18.4	1000.9	0	0	1013	7.26	1013	13.7	
12/12/2018	10:35 a.m.	16.8	16.9	16.7	34	0.8	6.4 W	14.5 WSW	0.54	14.5 WSW	16.8	14.9	14.9	18.3	1000.8	0	0	1016	7.28	1020	13.8	
12/12/2018	10:40 a.m.	17.1	17.1	16.9	36	1.9	8 W	17.7 SW	0.67	17.7 SW	17.1	15.3	15.3	18.7	1000.7	0	0	1025	7.35	1030	14	
12/12/2018	10:45 a.m.	17.2	17.2	17.1	31	-0.1	4.8 W	16.1 W	0.4	16.1 W	17.2	15.2	15.2	18.4	1000.6	0	0	1031	7.39	1034	14.2	
12/12/2018	10:50 a.m.	17.3	17.3	17.2	35	1.7	8 WNW	16.1 W	0.67	16.1 W	17.3	15.5	15.5	18.7	1000.6	0	0	1035	7.42	1037	14.4	
12/12/2018	10:55 a.m.	17.2	17.3	17.1	32	0.3	9.7 WNW	20.9 WNW	0.8	20.9 WNW	17.2	15.2	15.2	18.3	1000.5	0	0	1038	7.44	1039	14.5	
12/12/2018	11:00 a.m.	17.1	17.2	17.1	32	0.3	11.3 WNW	24.1 W	0.94	24.1 W	17.1	15.2	15.1	18	1000.4	0	0	1041	7.46	1042	14.6	
12/12/2018	11:05 a.m.	17.2	17.3	17.2	30	-0.5	11.3 WNW	20.9 WNW	0.94	20.9 WNW	17.2	15.2	15.1	17.9	1000.2	0	0	1045	7.49	1049	14.6	
12/12/2018	11:10 a.m.	17.4	17.7	17.3	32	0.6	4.8 W	16.1 WNW	0.4	16.1 WNW	17.4	15.5	15.5	18.4	1000.1	0	0	1049	7.52	1053	14.8	
12/12/2018	11:15 a.m.	17.8	18.1	17.7	31	0.5	9.7 W	19.3 WNW	0.8	19.3 WNW	17.8	15.8	15.8	18.7	1000	0	0	1055	7.56	1058	14.9	
12/12/2018	11:20 a.m.	18.2	18.2	18.1	30	0.3	11.3 WNW	22.5 WNW	0.94	22.5 WNW	18.2	16.1	16.1	18.8	1000	0	0	1054	7.55	1056	14.9	
12/12/2018	11:25 a.m.	18.1	18.1	18.1	28	-0.8	11.3 WNW	19.3 NW	0.94	19.3 NW	18.1	15.8	15.8	18.3	999.8	0	0	1054	7.55	1058	14.9	
12/12/2018	11:30 a.m.	18	18.1	17.9	30	0.1	8 WSW	16.1 WNW	0.67	16.1 WNW	18	15.9	15.9	18.5	999.9	0	0	1057	7.58	1063	15	
12/12/2018	11:35 a.m.	18	18	18	25	-2.3	12.9 W	20.9 W	1.07	20.9 W	17.6	15.4	15.1	17.3	999.8	0	0	1057	7.58	1060	15	
12/12/2018	11:40 a.m.	18	18.1	17.9	22	-4.1	9.7 WSW	20.9 SW	0.8	20.9 SW	18	15.3	15.3	17.6	999.7	0	0	1056	7.57	1058	14.9	

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Rain Bar	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index	
12/12/2018	11:45 a. m.	18.3	18.6	18.1	21	-4.4	6.4	WNW	0.54	19.3	W	18.3	15.6	15.6	17.8	999.8	0	0	1058	7.58	1063	15
12/12/2018	11:50 a. m.	18.7	18.7	18.6	21	-4.1	11.3	WSW	0.94	29	WNW	18.7	15.9	15.9	18.1	999.8	0	0	1058	7.58	1063	14.9
12/12/2018	11:55 a. m.	18.7	18.8	18.7	25	-1.7	11.3	W	0.94	20.9	W	18.7	16.1	16.1	18.3	999.7	0	0	1054	7.55	1056	14.9
12/12/2018	12:00 p. m.	18.6	18.7	18.4	21	-4.2	14.5	W	1.21	27.4	W	17.9	15.8	15.1	17.2	999.7	0	0	1051	7.53	1053	14.8
12/12/2018	12:05 p. m.	18.4	18.5	18.4	19	-5.6	9.7	WNW	0.8	22.5	SW	18.4	15.6	15.6	17.8	999.6	0	0	1049	7.52	1051	14.7
12/12/2018	12:10 p. m.	18.6	18.6	18.5	17	-7	11.3	W	0.94	19.3	W	18.6	15.6	15.6	17.8	999.8	0	0	1048	7.51	1051	14.6
12/12/2018	12:15 p. m.	18.7	18.9	18.6	18	-6.1	11.3	WSW	0.94	20.9	WSW	18.7	15.8	15.8	18.1	999.7	0	0	1044	7.48	1046	14.4
12/12/2018	12:20 p. m.	18.9	18.9	18.8	15	-8.4	14.5	W	1.21	27.4	WNW	18.2	15.8	15.1	17.2	999.5	0	0	1041	7.46	1044	14.3
12/12/2018	12:25 p. m.	18.7	18.8	18.6	15	-8.5	14.5	W	1.21	27.4	WSW	18	15.7	14.9	17.1	999.5	0	0	1036	7.43	1039	14.1
12/12/2018	12:30 p. m.	18.6	18.6	18.4	14	-9.5	14.5	W	1.21	27.4	WNW	17.8	15.5	14.7	16.9	999.6	0	0	1031	7.39	1032	14
12/12/2018	12:35 p. m.	18.5	18.6	18.4	14	-9.5	12.9	W	1.07	24.1	W	18.2	15.4	15.1	17.4	999.6	0	0	1026	7.35	1028	13.8
12/12/2018	12:40 p. m.	18.6	18.6	18.6	15	-8.6	12.9	W	1.07	25.7	WSW	18.3	15.6	15.2	17.6	999.6	0	0	1019	7.3	1023	13.6
12/12/2018	12:45 p. m.	18.7	18.7	18.6	14	-9.4	11.3	SW	0.94	20.9	W	18.7	15.6	15.6	18.1	999.6	0	0	1013	7.26	1014	13.4
12/12/2018	12:50 p. m.	18.8	18.9	18.7	15	-8.4	9.7	W	0.8	17.7	WNW	18.8	15.8	15.8	18.4	999.5	0	0	1006	7.21	1011	13.2
12/12/2018	12:55 p. m.	19	19.1	18.9	16	-7.4	9.7	WNW	0.8	24.1	NW	19	16	16	18.7	999.4	0	0	999	7.16	1002	13
12/12/2018	1:00 p. m.	18.9	19.1	18.8	17	-6.7	12.9	W	1.07	25.7	W	18.6	16	15.7	18.2	999.4	0	0	990	7.1	993	12.7
12/12/2018	1:05 p. m.	18.8	18.8	18.8	17	-6.8	11.3	W	0.94	22.5	W	18.8	15.9	15.9	18.6	999.3	0	0	980	7.02	984	12.5
12/12/2018	1:10 p. m.	18.9	19	18.8	17	-6.7	9.7	W	0.8	20.9	NW	18.9	16	16	18.8	999.1	0	0	971	6.96	976	12.2
12/12/2018	1:15 p. m.	19	19.1	18.9	18	-5.9	9.7	W	0.8	20.9	W	19	16.1	16.1	18.9	998.8	0	0	962	6.9	965	11.9
12/12/2018	1:20 p. m.	19	19.1	19	18	-5.9	12.9	W	1.07	27.4	WSW	18.7	16.1	15.7	18.4	998.7	0	0	952	6.82	958	11.6
12/12/2018	1:25 p. m.	18.9	19	18.9	19	-5.2	11.3	W	0.94	22.5	NW	18.9	16.1	16.1	18.9	998.5	0	0	939	6.73	946	11.3
12/12/2018	1:30 p. m.	18.9	19	18.9	19	-5.2	11.3	W	0.94	22.5	W	18.9	16.1	16.1	18.9	998.6	0	0	931	6.67	933	11.1
12/12/2018	1:35 p. m.	19.2	19.3	19.1	20	-4.4	9.7	WSW	0.8	22.5	W	19.2	16.3	16.3	19.3	998.4	0	0	918	6.58	923	10.8
12/12/2018	1:40 p. m.	19.3	19.3	19.2	18	-5.7	11.3	WSW	0.94	33.8	WSW	19.3	16.3	16.3	19.2	998.4	0	0	905	6.49	911	10.4
12/12/2018	1:45 p. m.	19.2	19.3	19.2	19	-5	11.3	SW	0.94	24.1	SW	19.2	16.3	16.3	19.2	998.4	0	0	896	6.42	900	10.2
12/12/2018	1:50 p. m.	19.3	19.4	19.3	21	-3.6	9.7	WSW	0.8	22.5	WSW	19.3	16.6	16.6	19.6	998.3	0	0	883	6.33	889	9.8
12/12/2018	1:55 p. m.	19.5	19.6	19.4	20	-4.1	12.9	WSW	1.07	25.7	SW	19.2	16.7	16.3	19.2	998.4	0	0	870	6.24	875	9.5
12/12/2018	2:00 p. m.	19.4	19.5	19.4	19	-4.8	12.9	WSW	1.07	20.9	WSW	19.1	16.6	16.2	19.1	998.1	0	0	857	6.14	863	9.1
12/12/2018	2:05 p. m.	19.5	19.6	19.4	19	-4.8	14.5	W	1.21	24.1	WNW	18.8	16.6	15.9	18.6	998.2	0	0	845	6.06	849	8.9
12/12/2018	2:10 p. m.	19.4	19.4	19.4	20	-4.2	11.3	WSW	0.94	20.9	WNW	19.4	16.6	16.6	19.6	998	0	0	831	5.96	837	8.5
12/12/2018	2:15 p. m.	19.4	19.5	19.4	19	-4.8	9.7	WSW	0.8	19.3	SW	19.4	16.6	16.6	19.6	997.9	0	0	817	5.86	824	8.2
12/12/2018	2:20 p. m.	19.6	19.6	19.5	19	-4.7	12.9	WSW	1.07	24.1	WNW	19.2	16.7	16.4	19.3	997.7	0	0	804	5.76	809	7.9
12/12/2018	2:25 p. m.	19.5	19.6	19.4	19	-4.8	12.9	W	1.07	25.7	SW	19.2	16.6	16.3	19.2	997.8	0	0	791	5.67	800	7.6
12/12/2018	2:30 p. m.	19.4	19.4	19.3	19	-4.9	12.9	W	1.07	25.7	SW	19.1	16.5	16.2	19.1	997.7	0	0	774	5.55	782	7.2
12/12/2018	2:35 p. m.	19.4	19.4	19.3	19	-4.9	11.3	W	0.94	19.3	WNW	19.4	16.5	16.5	19.5	997.6	0	0	759	5.44	766	6.9
12/12/2018	2:40 p. m.	19.4	19.5	19.4	18	-5.5	12.9	WSW	1.07	27.4	WSW	19.1	16.5	16.2	19.1	997.6	0	0	745	5.34	751	6.6
12/12/2018	2:45 p. m.	19.6	19.6	19.5	18	-5.4	11.3	W	0.94	22.5	SW	19.6	16.7	16.7	19.8	997.7	0	0	728	5.22	737	6.2

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	T HW Index	T HSW Index	Bar	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
12/12/2018	2:50 p.m.	19.6	19.6	19.6	18	-5.4	14.5	WSW	1.21	24.1	WSW	18.9	16.7	16	19	997.5	0	711	5.1	717	5.9
12/12/2018	2:55 p.m.	19.5	19.6	19.4	17	-6.2	11.3	W	0.94	24.1	WSW	19.5	16.6	16.6	19.8	997.4	0	695	4.98	701	5.7
12/12/2018	3:00 p.m.	19.5	19.6	19.4	16	-7	9.7	WSW	0.8	22.5	SW	19.5	16.5	16.5	19.8	997.3	0	679	4.87	684	5.3
12/12/2018	3:05 p.m.	19.6	19.6	19.6	16	-7	11.3	WSW	0.94	20.9	W	19.6	16.6	16.6	19.7	997.1	0	663	4.75	670	5
12/12/2018	3:10 p.m.	19.6	19.6	19.5	17	-6.2	12.9	W	1.07	20.9	W	19.2	16.6	16.3	19.3	997	0	647	4.64	654	4.8
12/12/2018	3:15 p.m.	19.5	19.5	19.4	17	-6.2	12.9	W	1.07	22.5	NW	19.2	16.6	16.2	19.3	996.9	0	629	4.51	635	4.5
12/12/2018	3:20 p.m.	19.4	19.4	19.4	17	-6.3	12.9	W	1.07	22.5	W	19.1	16.5	16.2	19.3	996.8	0	611	4.38	621	4.2
12/12/2018	3:25 p.m.	19.4	19.4	19.4	14	-8.8	14.5	W	1.21	25.7	WSW	18.7	16.3	15.6	18.6	996.8	0	593	4.25	599	3.9
12/12/2018	3:30 p.m.	19.4	19.4	19.4	15	-7.9	11.3	W	0.94	22.5	SSW	19.4	16.4	16.4	19.6	996.9	0	574	4.11	580	3.7
12/12/2018	3:35 p.m.	19.4	19.4	19.4	15	-7.9	14.5	W	1.21	22.5	W	18.7	16.4	15.7	18.6	996.9	0	558	4	566	3.4
12/12/2018	3:40 p.m.	19.4	19.4	19.4	16	-7.1	11.3	W	0.94	20.9	WSW	19.4	16.4	16.4	19.6	996.9	0	538	3.86	547	3.2
12/12/2018	3:41 p.m.	---	---	---	---	---	0	---	0	0	---	---	---	---	---	---	0	---	---	---	---
12/12/2018	3:45 p.m.	---	---	---	---	---	0	---	0	0	---	---	---	---	---	994.7	0	---	---	---	---
12/12/2018	3:50 p.m.	16.3	16.3	16.3	39	2.3	14.5	WSW	1.21	29	SW	15.2	14.8	13.6	11.9	994.8	0	18	0.13	18	0
12/12/2018	3:55 p.m.	16.2	16.3	16.1	41	2.9	11.3	WSW	0.94	20.9	WSW	15.8	14.7	14.4	12.6	994.9	0	17	0.12	18	0
12/12/2018	4:00 p.m.	16	16.1	15.9	41	2.7	11.3	WSW	0.94	22.5	SW	15.7	14.6	14.2	12.4	995	0	16	0.11	16	0
12/12/2018	4:05 p.m.	15.9	15.9	15.8	41	2.6	8	W	0.67	19.3	W	15.9	14.4	14.4	12.6	995.2	0	14	0.1	14	0
12/12/2018	4:10 p.m.	15.7	15.8	15.7	42	2.8	6.4	W	0.54	16.1	W	15.7	14.3	14.3	12.4	995.3	0	12	0.09	12	0
12/12/2018	4:15 p.m.	15.6	15.7	15.4	43	3	6.4	W	0.54	12.9	W	15.6	14.2	14.2	12.3	995.6	0	11	0.08	11	0
12/12/2018	4:20 p.m.	15.4	15.4	15.3	43	2.9	6.4	W	0.54	14.5	WSW	15.4	14	14	12.1	995.8	0	9	0.06	9	0
12/12/2018	4:25 p.m.	15.3	15.3	15.2	43	2.8	8	WSW	0.67	17.7	WSW	15.2	13.9	13.8	11.8	995.9	0	6	0.04	7	0
12/12/2018	4:30 p.m.	15.2	15.2	15.1	45	3.3	4.8	W	0.4	12.9	W	15.2	13.9	13.9	11.8	996	0	2	0.01	5	0
12/12/2018	4:35 p.m.	15.1	15.1	15	45	3.2	4.8	W	0.4	12.9	WNW	15.1	13.8	13.8	11.7	996.1	0	0	0	0	0
12/12/2018	4:40 p.m.	14.9	15	14.9	47	3.7	6.4	WNW	0.54	12.9	WNW	14.9	13.7	13.7	11.6	996.2	0	0	0	0	0
12/12/2018	4:45 p.m.	14.9	14.9	14.8	48	4	6.4	W	0.54	14.5	W	14.9	13.7	13.7	11.6	996.5	0	0	0	0	0
12/12/2018	4:50 p.m.	14.8	14.8	14.8	50	4.5	6.4	W	0.54	12.9	W	14.8	13.7	13.7	11.6	996.6	0	0	0	0	0
12/12/2018	4:55 p.m.	14.8	14.8	14.8	52	5	4.8	W	0.4	9.7	W	14.8	13.8	13.8	11.7	996.8	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:00 p.m.	14.8	14.8	14.8	54	5.6	6.4	W	0.54	11.3	W	14.8	13.8	13.8	11.8	996.7	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:05 p.m.	14.7	14.8	14.7	55	5.8	8	W	0.67	11.3	WNW	14.6	13.8	13.7	11.6	996.8	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:10 p.m.	14.7	14.7	14.7	55	5.7	4.8	W	0.4	12.9	WSW	14.7	13.8	13.8	11.7	996.8	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:15 p.m.	14.7	14.7	14.7	55	5.7	1.6	WSW	0.13	9.7	WSW	14.7	13.7	13.7	11.7	996.9	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:20 p.m.	14.7	14.7	14.6	54	5.5	1.6	WSW	0.13	8	WSW	14.7	13.7	13.7	11.7	997.1	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:25 p.m.	14.6	14.6	14.6	55	5.6	1.6	WSW	0.13	6.4	WSW	14.6	13.7	13.7	11.6	997.3	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:30 p.m.	14.5	14.6	14.4	57	6.1	6.4	WSW	0.54	11.3	WSW	14.5	13.7	13.7	11.6	997.4	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:35 p.m.	14.4	14.5	14.4	57	6	3.2	WSW	0.27	6.4	WSW	14.4	13.6	13.6	11.1	997.6	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:40 p.m.	14.4	14.4	14.4	53	5	8	WSW	0.67	22.5	W	14.2	13.4	13.2	10.7	997.7	0	0	0	0	0
12/12/2018	5:45 p.m.	14.4	14.4	14.3	45	2.6	8	W	0.67	20.9	WNW	14.2	13.1	12.9	10.3	997.8	0	0	0	0	0

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Dir	Wmd Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
13/12/2018	9:15 a.m.	16.8	16.8	16.7	45	4.8	14.5 W		1.21	30.6	WNNW	15.7	15.5	14.4	19.3	996.9	0	0	1014	7.27	1018	12.3
13/12/2018	9:20 a.m.	16.6	16.7	16.6	42	3.6	9.7 SW		0.8	27.4	WNNW	16.6	15.2	15.2	20.2	997	0	0	972	6.97	1046	12.1
13/12/2018	9:25 a.m.	16.8	16.9	16.7	44	4.4	8 W		0.67	17.7	SW	16.8	15.4	15.4	19.2	997	0	0	522	3.74	617	8.9
13/12/2018	9:30 a.m.	17	17.1	16.9	44	4.6	12.9 W		1.07	20.9	WNNW	16.4	15.7	15.1	18.2	996.8	0	0	468	3.35	519	7.4
13/12/2018	9:35 a.m.	16.9	17	16.8	43	4.2	12.9 WSW		1.07	25.7	WSW	16.3	15.5	14.9	17.3	996.9	0	0	373	2.67	390	7.3
13/12/2018	9:40 a.m.	16.6	16.7	16.4	40	2.9	11.3 SE		0.94	24.1	SSE	16.4	15.1	14.9	17.7	996.8	0	0	417	2.99	452	7
13/12/2018	9:45 a.m.	16.2	16.4	16.1	41	2.9	9.7 E		0.8	17.7	ESE	16.1	14.7	14.6	18.2	996.8	0	0	509	3.65	722	7.9
13/12/2018	9:50 a.m.	16.1	16.1	16.1	41	2.8	4.8 ENE		0.4	11.3	ENE	16.1	14.6	14.6	16.6	996.7	0	0	324	2.32	355	5.1
13/12/2018	9:55 a.m.	16.1	16.2	16.1	41	2.8	1.6 ENE		0.13	9.7	ENE	16.1	14.7	14.7	16.2	996.6	0	0	280	2.01	287	4.2
13/12/2018	10:00 a.m.	16.2	16.3	16.2	40	2.6	4.8 E		0.4	17.7	E	16.2	14.7	14.7	16	996.6	0	0	260	1.86	283	3.9
13/12/2018	10:05 a.m.	15.9	16.2	15.6	39	2	14.5 ENE		1.21	27.4	ENE	14.7	14.4	13.2	16.2	996.6	0	0	492	3.53	492	4
13/12/2018	10:10 a.m.	15.3	15.6	15.1	42	2.5	12.9 ENE		1.07	22.5	NNE	14.4	13.9	13.1	13.2	996.7	0	0	166	1.19	190	2.4
13/12/2018	10:15 a.m.	15	15.1	14.9	42	2.2	6.4 NE		0.54	20.9	N	15	13.6	13.6	13.2	996.7	0	0	132	0.95	149	1.9
13/12/2018	10:20 a.m.	14.8	14.9	14.8	43	2.4	4.8 NNE		0.4	16.1	NNE	14.8	13.5	13.5	12.6	996.8	0	0	94	0.67	105	1.4
13/12/2018	10:25 a.m.	14.9	14.9	14.8	43	2.4	4.8 ENE		0.4	16.1	NE	14.9	13.5	13.5	12.4	996.9	0	0	78	0.56	83	1.1
13/12/2018	10:30 a.m.	14.8	14.9	14.8	45	3	8 ENE		0.67	16.1	NE	14.7	13.6	13.4	12.2	997.1	0	0	70	0.5	74	0.9
13/12/2018	10:35 a.m.	14.1	14.7	12.9	50	3.8	16.1 ESE		1.34	27.4	ESE	12.1	13	11.1	10	997.2	0	0	65	0.47	72	0.8
13/12/2018	10:40 a.m.	11.7	12.9	10.8	59	4	17.7 SE		1.48	27.4	SE	9.1	11.1	8.4	7.6	997.3	0.6	14.8	86	0.62	97	1.1
13/12/2018	10:45 a.m.	10.2	10.7	9.9	68	4.6	4.8 SE		0.4	17.7	ESE	10.1	9.9	9.8	9.2	997.3	0.6	12.2	112	0.8	123	1.3
13/12/2018	10:50 a.m.	9.6	9.8	9.4	71	4.6	1.6 SE		0.13	6.4	SE	9.6	9.4	9.4	9.2	997.3	0.4	8	139	1	151	1.6
13/12/2018	10:55 a.m.	9.3	9.4	9.2	73	4.7	3.2 SE		0.27	9.7	SE	9.3	9.1	9.1	9.2	997.2	0.4	5.2	163	1.17	171	1.9
13/12/2018	11:00 a.m.	9.2	9.3	9.2	74	4.8	3.2 SE		0.27	11.3	SE	9.2	9.1	9.1	9.4	996.9	0.2	5.2	180	1.29	183	2.2
13/12/2018	11:05 a.m.	9.4	9.5	9.3	73	4.8	3.2 SE		0.27	11.3	SE	9.4	9.2	9.2	9.8	996.9	0.2	4	192	1.38	200	2.3
13/12/2018	11:10 a.m.	9.7	9.8	9.5	74	5.3	3.2 SE		0.27	9.7	ESE	9.7	9.5	9.5	10.3	996.8	0.4	3.6	209	1.5	216	2.5
13/12/2018	11:15 a.m.	10	10.2	9.8	71	5	6.4 E		0.54	9.7	ESE	9.4	9.8	9.2	10.1	996.8	0.2	3.6	220	1.58	220	2.6
13/12/2018	11:20 a.m.	10.4	10.6	10.2	68	4.7	4.8 ESE		0.4	11.3	ESE	10.3	10.1	9.9	10.9	996.9	0.2	3.8	225	1.61	232	2.6
13/12/2018	11:25 a.m.	10.8	10.9	10.6	68	5.1	3.2 ESE		0.27	8	ESE	10.8	10.4	10.4	11.9	996.9	0.2	3.8	255	1.83	274	2.9
13/12/2018	11:30 a.m.	11.1	11.3	10.9	65	4.8	1.6 E		0.13	8	ESE	11.1	10.7	10.7	12.6	997	0.2	3.6	300	2.15	316	3.4
13/12/2018	11:35 a.m.	11.4	11.6	11.3	64	4.9	0 E		0	16.6	E	11.4	10.9	10.9	13.2	997	0.4	3.4	329	2.36	334	3.7
13/12/2018	11:40 a.m.	11.8	11.9	11.6	68	6.1	0 --		0	0	--	11.8	11.3	11.3	13.6	997	0.2	3.4	330	2.37	338	3.8
13/12/2018	11:45 a.m.	12	12.1	11.9	69	6.5	1.6 E		0.13	4.8	E	12	11.6	11.6	13.4	996.9	0.2	3.6	293	2.1	309	3.4
13/12/2018	11:50 a.m.	12.1	12.2	12.1	69	6.6	1.6 E		0.13	4.8	E	12.1	11.7	11.7	13.7	996.9	0.2	3.6	303	2.17	308	3.5
13/12/2018	11:55 a.m.	12.2	12.2	12.1	68	6.4	0 E		0	3.2	E	12.2	11.7	11.7	13.7	996.9	0.2	3.4	302	2.16	306	3.6
13/12/2018	12:00 p.m.	12.3	12.3	12.2	68	6.5	0 E		0	1.6	E	12.3	11.8	11.8	13.6	996.8	0.2	3.4	276	1.98	294	3.2
13/12/2018	12:05 p.m.	12.3	12.3	12.3	66	6.2	0 E		0	3.2	E	12.3	11.8	11.8	12.9	996.6	0.2	3	227	1.63	250	2.6
13/12/2018	12:10 p.m.	12.3	12.3	12.3	59	4.5	1.6 E		0.13	4.8	E	12.3	11.6	11.6	11.8	996.4	0.2	3	167	1.2	192	1.9
13/12/2018	12:15 p.m.	12.3	12.3	12.3	64	5.7	0 E		0	3.2	E	12.3	11.7	11.7	11.3	996.2	0.2	2.6	123	0.88	132	1.3

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
13/12/2018	12:20 p.m.	12.3	12.3	12.3	62	5.3	4.8 E	0.4	11.3 SSE	11.7	11.7	11.3	996.1	0	2	120	0.86	120	1.2	1.2		
13/12/2018	12:25 p.m.	12.3	12.4	12.3	49	1.9	6.4 SE	0.54	16.1 SW	11.1	11.1	10.6	995.7	0.2	2	122	0.87	125	1.2	1.2		
13/12/2018	12:30 p.m.	12.5	12.6	12.4	52	2.9	4.8 SSW	0.4	12.9 SSW	11.6	11.6	11.3	995.5	0.2	2	133	0.95	141	1.3	1.3		
13/12/2018	12:35 p.m.	12.8	12.9	12.7	51	2.9	3.2 SSE	0.27	9.7 SSE	11.8	11.8	11.8	995.2	0	2	152	1.09	163	1.5	1.5		
13/12/2018	12:40 p.m.	13.1	13.3	12.9	50	2.9	4.8 WSW	0.4	16.1 W	12.1	12.1	12.4	995.1	0	1.2	185	1.33	200	1.7	1.7		
13/12/2018	12:45 p.m.	13.4	13.6	13.3	51	3.5	6.4 WSW	0.54	19.3 SW	12.4	12.4	13.2	995.3	0.2	1.2	216	1.55	225	2	2		
13/12/2018	12:50 p.m.	13.7	13.8	13.6	47	2.6	6.4 SE	0.54	14.5 SSE	13.7	12.6	12.5	995.4	0.2	1.8	244	1.75	257	2.2	2.2		
13/12/2018	12:55 p.m.	13.9	14	13.8	51	3.9	3.2 SSW	0.27	20.9 SW	12.9	12.9	14.4	995.5	0	1.4	273	1.96	285	2.4	2.4		
13/12/2018	1:00 p.m.	14	14.1	14	51	4	9.7 SE	0.8	17.7 SE	13.4	12.9	12.4	995.5	0.2	1.4	299	2.14	309	2.6	2.6		
13/12/2018	1:05 p.m.	14.1	14.2	14.1	48	3.3	8 SE	0.67	20.9 SE	13.8	12.9	12.7	995.5	0.2	1.8	323	2.32	332	2.8	2.8		
13/12/2018	1:10 p.m.	14.3	14.4	14.2	49	3.7	6.4 ESE	0.54	11.3 ESE	13.2	13.2	15.3	995.7	0	1.8	341	2.44	352	2.9	2.9		
13/12/2018	1:15 p.m.	14.5	14.6	14.4	48	3.6	8 SE	0.67	16.1 E	14.3	13.3	13.1	995.9	0.2	1.8	376	2.7	397	3.1	3.1		
13/12/2018	1:20 p.m.	14.7	14.7	14.6	46	3.2	9.7 E	0.8	14.5 E	14.3	13.4	13.1	995.9	0	1	371	2.66	373	3.1	3.1		
13/12/2018	1:25 p.m.	14.8	14.8	14.7	45	2.9	6.4 ESE	0.54	12.9 ESE	14.8	13.5	13.5	996	0.2	1.8	377	2.7	380	3.1	3.1		
13/12/2018	1:30 p.m.	14.9	15.1	14.8	44	2.8	6.4 E	0.54	11.3 ESE	14.9	13.6	13.6	996.1	0	1.4	391	2.8	424	3	3		
13/12/2018	1:35 p.m.	15.2	15.2	15.1	42	2.3	3.2 ESE	0.27	9.7 ESE	15.2	13.8	13.8	996.1	0	0.8	317	2.27	334	2.6	2.6		
13/12/2018	1:40 p.m.	15.2	15.3	15.2	42	2.4	1.6 ESE	0.13	6.4 ESE	15.2	13.8	13.8	996.1	0.2	0.8	279	2	294	2.3	2.3		
13/12/2018	1:45 p.m.	15.3	15.4	15.3	41	2.1	3.2 ESE	0.27	8 ESE	15.3	13.9	13.9	996.1	0	0	237	1.7	257	1.9	1.9		
13/12/2018	1:50 p.m.	15.3	15.3	15.3	42	2.5	1.6 SE	0.13	6.4 SE	15.3	13.9	13.9	996	0	0	211	1.51	216	1.6	1.6		
13/12/2018	1:55 p.m.	15.3	15.3	15.3	41	2.1	3.2 SE	0.13	4.8 SE	15.3	13.8	14.4	996.1	0	0	202	1.45	204	1.5	1.5		
13/12/2018	2:00 p.m.	15.3	15.3	15.2	40	1.7	3.2 SE	0.27	8 SE	15.3	13.8	14.3	996.1	0	0	198	1.42	202	1.4	1.4		
13/12/2018	2:05 p.m.	15.2	15.3	15.2	41	2	1.6 SE	0.13	4.8 SE	15.2	13.8	13.8	996.2	0.2	0	183	1.31	192	1.3	1.3		
13/12/2018	2:10 p.m.	15.3	15.3	15.2	41	2.1	0 --	0	0 --	15.3	13.8	13.8	996.1	0	0	156	1.12	169	1.1	1.1		
13/12/2018	2:15 p.m.	15.3	15.3	15.3	38	1.1	0 SE	0	4.8 SE	15.3	13.7	13.7	996.3	0	0	104	0.75	130	0.7	0.7		
13/12/2018	2:20 p.m.	15.3	15.3	15.3	42	2.5	6.4 ENE	0.54	20.9 NNE	15.3	13.9	13.9	996.3	0	0	60	0.43	72	0.1	0.1		
13/12/2018	2:25 p.m.	15.2	15.3	15.1	42	2.3	6.4 E	0.54	19.3 NE	15.2	13.8	13.8	996.4	0	0	46	0.33	47	0	0		
13/12/2018	2:30 p.m.	14.9	15	14.7	43	2.4	12.9 E	1.07	24.1 NE	13.9	13.5	12.6	996.3	0	0	61	0.44	77	0.1	0.1		
13/12/2018	2:35 p.m.	14.4	14.7	14.2	49	3.9	16.1 E	1.34	27.4 ESE	12.6	13.3	11.4	996.3	0	0	111	0.8	127	0.7	0.7		
13/12/2018	2:40 p.m.	13.7	14.2	13.3	53	4.3	14.5 ENE	1.21	24.1 ENE	12.1	12.8	11.2	996.3	0	0	127	0.91	130	0.8	0.8		
13/12/2018	2:45 p.m.	13	13.3	12.8	55	4.2	11.3 E	0.94	17.7 E	12.1	12.2	11.2	996.3	0	0	123	0.88	123	0.8	0.8		
13/12/2018	2:50 p.m.	12.8	12.8	12.7	51	2.9	11.3 E	0.94	20.9 ENE	11.8	11.8	10.8	996.3	0	0	117	0.84	125	0.7	0.7		
13/12/2018	2:55 p.m.	12.8	12.8	12.8	53	3.4	8 ENE	0.67	16.1 ENE	12.3	11.9	11.4	996.4	0	0	94	0.67	102	0.6	0.6		
13/12/2018	3:00 p.m.	12.9	12.9	12.8	51	3	8 E	0.67	16.1 E	12.4	11.9	11.4	996.3	0	0	84	0.6	86	0.5	0.5		
13/12/2018	3:05 p.m.	12.9	13.1	12.9	53	3.6	6.4 E	0.54	11.3 E	12.8	12.1	11.9	996.3	0	0	84	0.6	86	0.5	0.5		
13/12/2018	3:10 p.m.	13.1	13.2	13.1	54	4	3.2 E	0.27	8 E	13.1	12.2	12.2	996.3	0	0	87	0.62	88	0.3	0.3		
13/12/2018	3:15 p.m.	13.2	13.2	13.1	54	4.1	6.4 ESE	0.54	12.9 ESE	13	12.3	12.1	996.4	0	0	88	0.63	88	0	0		
13/12/2018	3:20 p.m.	13.1	13.1	13.1	54	4	3.2 ESE	0.27	8 ESE	13.1	12.2	12.2	996.3	0	0	88	0.63	88	0	0		

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	T HW Index	T HSW Index	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
18/12/2018	2:45 p.m.	13.2	13.2	13.1	64	6.5	8 SW		0.67	17.7 SW	12.7 SW	12.7	12.6	12.1	15.7	1001.2	0	0	468	3.35	636	3.8
18/12/2018	2:50 p.m.	13.1	13.2	13.1	62	6	8 WSW		0.67	16.1 S	12.7 S	12.7	12.4	12	14.2	1001.2	0	0	320	2.29	336	3.2
18/12/2018	2:55 p.m.	12.9	13.1	12.8	61	5.5	8 SW		0.67	16.1 SW	12.4 SW	12.4	12.2	11.7	14.2	1001.2	0	0	343	2.46	346	3.3
18/12/2018	3:00 p.m.	12.7	12.8	12.7	62	5.6	9.7 SW		0.8	19.3 SW	11.9 SW	11.9	12.1	11.3	14	1001.3	0	0	363	2.6	373	3.2
18/12/2018	3:05 p.m.	12.7	12.8	12.7	61	5.4	8 SW		0.67	20.9 SW	12.2 SW	12.2	12.1	11.6	14.3	1001.3	0	0	365	2.62	371	3.1
18/12/2018	3:10 p.m.	12.7	12.8	12.7	61	5.4	8 SW		0.67	16.1 SW	12.2 SW	12.2	12.1	11.6	14	1001.3	0	0	329	2.36	418	2.4
18/12/2018	3:15 p.m.	12.7	12.7	12.7	60	5.1	9.7 SW		0.8	22.5 SW	11.9 SW	11.9	12	11.2	12.2	1001.3	0	0	194	1.39	207	1.7
18/12/2018	3:20 p.m.	12.6	12.7	12.5	62	5.5	9.7 WSW		0.8	22.5 WSW	11.8 SW	11.8	11.9	11.1	11.7	1001.2	0	0	160	1.15	174	1.3
18/12/2018	3:25 p.m.	12.4	12.4	12.3	63	5.5	9.7 WSW		0.8	27.4 S	11.6 SW	11.6	11.8	10.9	11	1001.3	0	0	127	0.91	139	1.1
18/12/2018	3:30 p.m.	12.1	12.2	11.8	65	5.7	11.3 SE		0.94	27.4 SE	10.9 SW	10.9	11.5	10.3	10	1001.5	0	0	101	0.72	114	0.8
18/12/2018	3:35 p.m.	11.7	11.8	11.6	67	5.7	9.7 SE		0.8	20.9 SE	10.7 SW	10.7	11.2	10.2	9.5	1001.5	0	0	76	0.54	81	0.6
18/12/2018	3:40 p.m.	11.4	11.6	11.3	68	5.7	11.3 S		0.94	25.7 S	10.2 SW	10.2	11.1	9.8	9.2	1001.5	0	0	84	0.6	84	0.6
18/12/2018	3:45 p.m.	11.2	11.3	11.1	69	5.7	11.3 ESE		0.94	24.1 SSE	9.9 SW	9.9	10.8	9.5	8.9	1001.3	0	0	82	0.59	83	0.6
18/12/2018	3:50 p.m.	11.1	11.1	11.1	68	5.4	4.8 SSW		0.4	19.3 S	11	10.7	10.6	10	10	1001.4	0	0	80	0.57	81	0.6
18/12/2018	3:55 p.m.	11.1	11.1	11	69	5.6	6.4 SE		0.54	17.7 SE	10.6 SW	10.6	10.7	10.3	9.7	1001.6	0	0	79	0.57	81	0.5
18/12/2018	4:00 p.m.	11	11.1	11	69	5.5	8 ESE		0.67	12.9 ESE	10.2 SW	10.2	10.7	9.9	9.4	1001.6	0	0	83	0.59	84	0.5
19/12/2018	10:00 a.m.	13.4	13.6	13.3	52	3.7	3.2 WSW		0.27	17.7 WSW	13.4 SW	13.4	12.4	12.4	17.8	1005.4	0	0	1175	8.42	1197	13.5
19/12/2018	10:05 a.m.	13.6	13.7	13.6	51	3.7	6.4 SE		0.54	16.1 WSW	13.6 SW	13.6	12.6	12.6	17.7	1005.4	0	0	1161	8.32	1169	13.9
19/12/2018	10:10 a.m.	13.8	13.9	13.7	49	3.3	3.2 SE		0.27	9.7 WSW	13.8 SW	13.8	12.7	12.7	16.6	1005.5	0	0	895	6.42	1172	11.3
19/12/2018	10:15 a.m.	13.8	13.9	13.8	50	3.6	1.6 SE		0.13	6.4 SE	13.8 SW	13.8	12.8	12.8	15.1	1005.4	0	0	356	2.55	357	8
19/12/2018	10:20 a.m.	13.7	13.8	13.6	51	3.8	0 SE		0	4.8 SE	13.7 SW	13.7	12.7	12.7	14.5	1005.4	0	0	304	2.18	325	6.5
19/12/2018	10:25 a.m.	13.5	13.6	13.4	53	4.1	1.6 ENE		0.13	9.7 NNE	13.5 SW	13.5	12.6	12.6	14.2	1005.4	0	0	293	2.1	381	6.3
19/12/2018	10:30 a.m.	13.3	13.3	13.2	52	3.6	0 ENE		0	3.2 ENE	13.3 SW	13.3	12.3	12.3	14.7	1005.4	0	0	364	2.61	388	7.3
19/12/2018	10:35 a.m.	13.2	13.2	13.2	52	3.6	3.2 ENE		0.27	9.7 ESE	13.2 SW	13.2	12.2	12.2	14.5	1005.4	0	0	352	2.52	401	8.2
19/12/2018	10:40 a.m.	13.2	13.3	13.2	52	3.6	3.2 SSE		0.27	11.3 SSW	13.2 SW	13.2	12.2	12.2	16.1	1005.3	0	0	1097	7.86	1232	13.6
19/12/2018	10:45 a.m.	13.4	13.5	13.3	52	3.8	6.4 SE		0.54	16.1 ESE	13.3 SW	13.3	12.4	12.3	16.9	1005.4	0	0	1214	8.7	1239	15.3
19/12/2018	10:50 a.m.	13.6	13.7	13.5	50	3.4	8 SSE		0.67	22.5 SE	13.3 SW	13.3	12.6	12.2	16.6	1005.2	0	0	1193	8.55	1195	15.3
19/12/2018	10:55 a.m.	13.7	13.7	13.6	51	3.7	3.2 SSW		0.27	11.3 SW	13.7 SW	13.7	12.7	12.7	16.9	1005	0	0	1189	8.52	1194	15.2
19/12/2018	11:00 a.m.	13.9	14	13.7	47	2.8	4.8 SE		0.4	12.9 SE	13.9 SW	13.9	12.7	12.7	16.9	1004.9	0	0	1207	8.65	1218	15.6
19/12/2018	11:05 a.m.	14	14.1	14	49	3.4	1.6 SE		0.13	8 SE	14 SW	14	12.9	12.9	17	1004.7	0	0	1203	8.62	1208	13.8
19/12/2018	11:10 a.m.	14.3	14.5	14.1	46	2.9	3.2 ESE		0.27	11.3 SW	14.3 SW	14.3	13.1	13.1	16.9	1004.5	0	0	1182	8.47	1197	16
19/12/2018	11:15 a.m.	14.6	14.7	14.5	46	3.1	8 E		0.67	20.9 SSE	14.4 SW	14.4	13.4	13.2	17.1	1004.6	0	0	1188	8.52	1194	16
19/12/2018	11:20 a.m.	14.6	14.6	14.4	44	2.4	3.2 SSE		0.27	17.7 SSE	14.6 SW	14.6	13.2	13.2	16.7	1004.6	0	0	1143	8.19	1188	15.7
19/12/2018	11:25 a.m.	14.5	14.5	14.4	43	2.1	3.2 WNW		0.27	9.7 SSE	14.5 SW	14.5	13.2	13.2	15.9	1004.6	0	0	394	2.82	434	11.1
19/12/2018	11:30 a.m.	14.6	14.7	14.5	45	2.7	1.6 SE		0.13	8 SSE	14.6 SW	14.6	13.3	13.3	17.3	1004.5	0	0	1275	9.14	1299	14.9
19/12/2018	11:35 a.m.	14.8	14.8	14.7	52	5.1	8 WSW		0.67	19.3 NW	14.7 SW	14.7	13.8	13.7	17.5	1004.2	0	0	1229	8.81	1241	16
19/12/2018	11:40 a.m.	14.6	14.8	14.4	55	5.6	12.9 WSW		1.07	20.9 WNW	13.5 SW	13.5	13.7	12.6	16.4	1004	0	0	1267	9.08	1281	15.6

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	T HW Index	T HSW Index	Bar	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
19/12/2018	11:45 a. m.	14.4	14.4	14.3	52	4.6	6.4	WNW	0.54	17.7	NW	14.4	13.4	13.4	17.1	1003.9	0	1216	8.72	1223	15
19/12/2018	11:50 a. m.	14.3	14.3	14.3	49	3.7	1.6	WNW	0.13	12.9	SW	14.3	13.2	13.2	16.7	1003.8	0	470	3.37	1187	8.6
19/12/2018	11:55 a. m.	14.3	14.3	14.2	56	5.6	8	WSW	0.67	16.1	SW	14	13.4	13.2	15.1	1003.9	0	302	2.16	353	7.3
19/12/2018	12:00 p. m.	14.2	14.2	14.2	54	5	8	WSW	0.67	16.1	W	13.9	13.3	13	16.7	1003.7	0	1201	8.61	1209	14.7
19/12/2018	12:05 p. m.	14.2	14.2	14.1	56	5.5	11.3	W	0.94	20.9	W	13.4	13.3	12.6	16.3	1003.6	0	1208	8.66	1232	16
19/12/2018	12:10 p. m.	14.3	14.4	14.2	55	5.4	11.3	W	0.94	20.9	W	13.6	13.4	12.7	16.8	1003.4	0	1272	9.12	1301	16
19/12/2018	12:15 p. m.	14.6	14.7	14.4	52	4.8	6.4	W	0.54	16.1	WSW	14.6	13.6	13.6	18	1003.3	0	622	4.46	1250	9.7
19/12/2018	12:20 p. m.	14.7	14.8	14.7	51	4.7	3.2	WNW	0.27	12.9	W	14.7	13.7	13.7	15.5	1003.2	0	296	2.12	311	6.7
19/12/2018	12:25 p. m.	14.7	14.8	14.6	47	3.5	6.4	E	0.54	16.1	NE	14.7	13.5	13.5	15.4	1003.3	0	310	2.22	330	6.5
19/12/2018	12:30 p. m.	14.6	14.6	14.6	50	4.2	1.6	ESE	0.13	8	ESE	14.6	13.4	13.4	15.8	1003.2	0	354	2.54	378	7.6
19/12/2018	12:35 p. m.	14.7	14.7	14.6	49	4.1	4.8	SE	0.4	17.7	SE	14.7	13.5	13.5	18.1	1003.1	0	660	4.73	1148	10.7
19/12/2018	12:40 p. m.	14.9	15	14.8	50	4.5	4.8	WSW	0.4	14.5	SW	14.9	13.8	13.8	17.9	1003.1	0	1182	8.47	1216	14.7
19/12/2018	12:45 p. m.	15.1	15.2	15	50	4.7	3.2	W	0.27	12.9	SW	15.1	13.9	13.9	17.1	1003	0	441	3.16	531	9.9
19/12/2018	12:50 p. m.	15.3	15.3	15.2	47	4	6.4	SW	0.54	19.3	SW	15.3	14.1	14.1	18.4	1002.8	0	1177	8.44	1253	12.2
19/12/2018	12:55 p. m.	15.3	15.4	15.3	47	4.1	9.7	WSW	0.8	19.3	SW	15.1	14.1	13.8	18.4	1002.8	0	689	4.94	1160	8
19/12/2018	1:00 p. m.	15.2	15.3	15	48	4.2	8	WSW	0.67	17.7	W	15.1	14	13.9	14.4	1002.6	0	190	1.36	209	5
19/12/2018	1:05 p. m.	14.9	15	14.9	49	4.3	4.8	W	0.4	16.1	SW	14.9	13.8	13.8	14.6	1002.5	0	211	1.51	229	4.8
19/12/2018	1:10 p. m.	14.9	14.9	14.8	49	4.3	4.8	SSW	0.4	12.9	WSW	14.9	13.7	13.7	14.9	1002.3	0	242	1.73	250	5.5
19/12/2018	1:15 p. m.	14.9	14.9	14.9	50	4.5	9.7	SSW	0.8	17.7	WSW	14.6	13.8	13.4	17.3	1002.1	0	917	6.57	1223	7.8
19/12/2018	1:20 p. m.	15.1	15.2	14.9	43	2.6	4.8	SE	0.4	9.7	SW	15.1	13.7	13.7	17.4	1002	0	542	3.88	1136	8.1
19/12/2018	1:25 p. m.	15.3	15.3	15.2	53	5.7	8	NNW	0.67	17.7	NW	15.2	14.3	14.2	15.9	1001.9	0	290	2.08	315	5.5
19/12/2018	1:30 p. m.	15	15.2	14.9	56	6.3	9.7	WNW	0.8	19.3	NNW	14.7	14.2	13.8	16.1	1001.7	0	341	2.44	352	5.6
19/12/2018	1:35 p. m.	14.8	14.9	14.7	55	5.8	9.7	WSW	0.8	19.3	SW	14.4	13.9	13.5	15.6	1001.6	0	333	2.39	339	5.3
19/12/2018	1:40 p. m.	14.7	14.7	14.6	57	6.2	8	WNW	0.67	17.7	WSW	14.5	13.8	13.7	15.4	1001.4	0	297	2.13	311	4.7
19/12/2018	1:45 p. m.	14.6	14.6	14.5	57	6.1	8	WNW	0.67	16.1	NW	14.3	13.7	13.5	15.5	1001.2	0	318	2.28	369	4.8
19/12/2018	1:50 p. m.	14.6	14.7	14.6	57	6.2	8	WNW	0.67	16.1	WSW	14.4	13.8	13.6	15.3	1001	0	290	2.08	315	6.4
19/12/2018	1:55 p. m.	14.7	14.7	14.7	55	5.8	11.3	WSW	0.94	19.3	WSW	14.1	13.8	13.2	14.8	1000.7	0	277	1.99	322	4.2
19/12/2018	2:00 p. m.	14.7	14.7	14.7	57	6.3	8	WSW	0.67	20.9	SW	14.6	13.9	13.7	15.7	1000.6	0	316	2.26	343	4.8
19/12/2018	2:05 p. m.	14.8	14.8	14.7	57	6.3	11.3	WSW	0.94	25.7	WSW	14.2	13.9	13.3	15.4	1000.5	0	331	2.37	403	5
19/12/2018	2:10 p. m.	14.6	14.7	14.6	58	6.4	9.7	SW	0.8	17.7	W	14.2	13.8	13.4	15.2	1000.4	0	287	2.06	352	4.5
19/12/2018	2:15 p. m.	14.6	14.6	14.6	58	6.4	9.7	WNW	0.8	17.7	WNW	14.1	13.8	13.3	14.5	1000.1	0	234	1.68	262	4.8
19/12/2018	2:20 p. m.	14.6	14.6	14.5	57	6.1	9.7	W	0.8	20.9	WSW	14.1	13.7	13.3	13.9	1000.1	0	192	1.38	221	3.6
19/12/2018	2:25 p. m.	14.4	14.5	14.3	57	6	11.3	W	0.94	20.9	WSW	13.8	13.6	12.9	14.2	999.9	0	241	1.73	253	4
19/12/2018	2:30 p. m.	14.3	14.3	14.3	57	5.9	12.9	WSW	1.07	20.9	WSW	13.3	13.5	12.4	14.6	999.9	0	338	2.42	882	4.9
19/12/2018	2:35 p. m.	14.2	14.3	14.2	58	6.1	9.7	W	0.8	19.3	WNW	13.7	13.4	12.9	13	999.7	0	146	1.05	174	3
19/12/2018	2:40 p. m.	14.2	14.2	14.1	56	5.5	9.7	W	0.8	20.9	NW	13.7	13.3	12.8	17	999.5	0	700	5.02	879	5.8
19/12/2018	2:45 p. m.	14.3	14.4	14.2	57	5.9	6.4	WSW	0.54	17.7	W	14.3	13.4	13.4	17.9	999.4	0	820	5.88	835	6.1

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
19/12/2018	2:50 p.m.	14.6	14.7	14.5	56	5.9	8 W	0.67	19.3 WSW	14.4	13.8	13.6	15.9	999.4	0	0	330	2.37	330	4.9	
19/12/2018	2:55 p.m.	14.7	14.8	14.7	57	6.3	9.7 WSW	0.8	22.5 WSW	14.3	13.9	13.5	17.4	999.3	0	0	723	5.18	761	5	
19/12/2018	3:00 p.m.	14.8	14.9	14.7	56	6.1	8 W	0.67	20.9 SW	14.6	13.9	13.8	17.9	999.2	0	0	724	5.19	754	5.3	
19/12/2018	3:05 p.m.	14.9	14.9	14.9	54	5.7	9.7 WSW	0.8	24.1 SW	14.6	13.9	13.6	18.1	999	0	0	739	5.3	745	5.6	
19/12/2018	3:10 p.m.	14.9	15	14.9	54	5.7	9.7 WSW	0.8	25.7 W	14.6	14	13.7	17.6	999	0	0	670	4.8	703	5.2	
19/12/2018	3:15 p.m.	15	15	14.9	55	6	11.3 WSW	0.94	22.5 SW	14.4	14.1	13.6	17	999	0	0	627	4.49	633	4.8	
19/12/2018	3:20 p.m.	15	15.1	14.9	54	5.8	6.4 WSW	0.54	17.7 NNW	15	14.1	14.1	17.8	998.9	0	0	604	4.33	608	4.4	
19/12/2018	3:25 p.m.	15.1	15.1	15.1	53	5.6	9.7 W	0.8	25.7 WSW	14.8	14.1	13.8	17.4	998.8	0	0	603	4.32	608	4.3	
19/12/2018	3:30 p.m.	15	15.1	14.9	54	5.8	11.3 W	0.94	25.7 WNW	14.4	14.1	13.5	17.2	998.8	0	0	565	4.05	589	3.9	
20/12/2018	10:00 a.m.	12.2	12.2	12.2	48	1.5	3.2 SW	0.27	12.9 WSW	12.2	11.2	11.2	13.9	1003.4	0	0	408	2.92	420	4.9	
20/12/2018	10:05 a.m.	12.2	12.2	12.2	48	1.5	4.8 SW	0.4	14.5 WSW	12.2	11.2	11.2	14.1	1003.3	0	0	417	2.99	441	5.1	
20/12/2018	10:10 a.m.	12.2	12.2	12.2	50	2.1	1.6 SW	0.13	6.4 SW	12.2	11.3	11.3	14.4	1003.3	0	0	448	3.21	457	5.6	
20/12/2018	10:15 a.m.	12.2	12.3	12.2	50	2.1	4.8 W	0.4	14.5 W	12.2	11.3	11.3	15.4	1003	0	0	608	4.36	668	7.3	
20/12/2018	10:20 a.m.	12.3	12.3	12.3	48	1.6	8 W	0.67	14.5 WSW	11.7	11.3	10.7	14.4	1002.9	0	0	532	3.81	561	6.6	
20/12/2018	10:25 a.m.	12.4	12.5	12.3	47	1.4	3.2 W	0.27	12.9 W	12.4	11.3	11.3	15.3	1002.9	0	0	582	4.17	738	7.6	
20/12/2018	10:30 a.m.	12.7	12.8	12.6	43	0.4	1.6 W	0.13	6.4 W	12.7	11.4	11.4	16.1	1002.9	0	0	774	5.55	909	9.3	
20/12/2018	10:35 a.m.	12.9	13	12.8	39	-0.7	1.6 W	0.13	6.4 W	12.9	11.6	11.6	14.8	1002.8	0	0	461	3.3	464	7.6	
20/12/2018	10:40 a.m.	13.1	13.2	13	39	-0.6	1.6 WSW	0.13	8 WSW	13.1	11.7	11.7	16.3	1003	0	0	845	6.06	888	11.2	
20/12/2018	10:45 a.m.	13.3	13.5	13.2	38	-0.7	3.2 WSW	0.27	8 WSW	13.3	11.9	11.9	14.6	1002.8	0	0	972	6.97	1023	12.4	
20/12/2018	10:50 a.m.	13.6	13.7	13.5	40	0.2	4.8 WSW	0.4	11.3 W	13.6	12.2	12.2	15.1	1002.6	0	0	1006	7.21	1067	13	
20/12/2018	10:55 a.m.	13.8	13.9	13.7	43	1.5	3.2 WSW	0.27	11.3 WSW	13.8	12.6	12.6	16.7	1002.5	0	0	1198	8.59	1267	15	
20/12/2018	11:00 a.m.	14.1	14.2	14	42	1.4	8 WSW	0.67	19.3 WNW	13.8	12.8	12.5	15.4	1002.4	0	0	1023	7.33	1100	13.3	
20/12/2018	11:05 a.m.	14.1	14.1	14	45	2.3	9.7 W	0.8	17.7 WSW	13.6	12.8	12.3	16.3	1002.4	0	0	1184	8.49	1246	15	
20/12/2018	11:10 a.m.	14	14.1	13.9	40	0.6	9.7 WNW	0.8	17.7 WSW	13.4	12.6	12.1	15.6	1002.3	0	0	1136	8.14	1150	14.2	
20/12/2018	11:15 a.m.	13.9	14	13.9	43	1.6	8 W	0.67	19.3 WNW	13.6	12.7	12.3	17	1002.2	0	0	865	6.2	1034	11.8	
20/12/2018	11:20 a.m.	13.9	14	13.9	41	0.9	11.3 WNW	0.94	20.9 W	13.2	12.6	11.8	16.5	1002	0	0	751	5.38	893	10.7	
20/12/2018	11:25 a.m.	13.9	13.9	13.8	43	1.5	12.9 WNW	1.07	20.9 WNW	12.7	12.6	11.4	15.4	1001.9	0	0	927	6.64	1009	12.5	
20/12/2018	11:30 a.m.	13.9	14	13.8	48	3.1	12.9 W	1.07	25.7 W	12.8	12.8	11.7	16.2	1001.7	0	0	754	5.4	796	10.3	
20/12/2018	11:35 a.m.	14	14	13.9	45	2.2	19.3 W	1.61	32.2 NNW	11.4	12.8	10.2	14.1	1001.4	0	0	841	6.03	858	11.3	
20/12/2018	11:40 a.m.	14.1	14.2	14	44	2	12.9 SW	1.07	30.6 SW	13	12.8	11.7	14.9	1001.8	0	0	990	7.1	990	10.1	
20/12/2018	11:45 a.m.	14.3	14.3	14.2	43	1.9	6.4 W	0.54	20.9 WSW	14.3	12.9	12.9	17.1	1001.7	0	0	940	6.74	1136	10.9	
20/12/2018	11:50 a.m.	14.3	14.3	14.2	45	2.5	8 WNW	0.67	22.5 NW	14	13	12.7	17.4	1001.5	0	0	880	6.31	951	11.6	
20/12/2018	11:55 a.m.	14.3	14.3	14.3	45	2.5	12.9 W	1.07	22.5 SW	13.2	13	11.9	14.4	1001.3	0	0	1065	7.63	1294	13.3	
20/12/2018	12:00 p.m.	14.5	14.7	14.3	43	2.1	6.4 WSW	0.54	16.1 SW	14.5	13.2	13.2	16.7	1001.4	0	0	1201	8.61	1201	14.6	
20/12/2018	12:05 p.m.	14.8	14.8	14.7	42	2	9.7 WSW	0.8	16.1 SW	14.4	13.4	13	17.8	1001.3	0	0	833	5.97	1157	9.2	
20/12/2018	12:10 p.m.	14.6	14.8	14.5	41	1.5	9.7 WSW	0.8	17.7 WNW	14.2	13.2	12.8	16.6	1001.2	0	0	531	3.81	573	7.8	
20/12/2018	12:15 p.m.	14.3	14.4	14.3	45	2.5	9.7 WNW	0.8	17.7 W	13.9	13.1	12.6	15.2	1001.2	0	0	1024	7.34	1053	12.5	

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	TSHW Index	Bar	Rain	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Energy	Hi Solar Rad.	UV Index
20/12/2018	12:20 p. m.	14.3	14.3	14.3	43	1.9	12.9 W	12.9 W	1.07	27.4 WNW	13.2	12.9	11.8	154	1001.1	0	0	1192	8.54	1201	12.8	
20/12/2018	12:25 p. m.	14.4	14.6	14.3	42	1.7	14.5 W	14.5 W	1.21	25.7 W	12.9	13.1	11.6	15	1001.1	0	0	1192	8.54	1192	13.3	
20/12/2018	12:30 p. m.	14.7	14.8	14.6	44	2.5	12.9 WSW	12.9 WSW	1.07	22.5 W	13.7	13.3	12.3	16.3	1001	0	0	1241	8.89	1276	15	
20/12/2018	12:35 p. m.	14.7	14.8	14.7	45	2.9	9.7 WSW	9.7 WSW	0.8	22.5 WSW	14.3	13.4	13.1	17.4	1001	0	0	626	4.49	1183	10.8	
20/12/2018	12:40 p. m.	14.7	14.8	14.7	44	2.6	9.7 W	9.7 W	0.8	24.1 SW	14.3	13.4	13	15.7	1001	0	0	986	7.07	1034	12.5	
20/12/2018	12:45 p. m.	14.7	14.7	14.6	44	2.5	8 WSW	8 WSW	0.67	19.3 WSW	14.5	13.3	13.2	17.1	1000.7	0	0	943	6.76	1021	10.2	
20/12/2018	12:50 p. m.	14.5	14.6	14.4	45	2.7	11.3 W	11.3 W	0.94	22.5 WNW	13.8	13.2	12.6	16.1	1000.6	0	0	502	3.6	566	6.7	
20/12/2018	12:55 p. m.	14.4	14.4	14.4	48	3.6	11.3 WSW	11.3 WSW	0.94	22.5 WSW	13.8	13.3	12.6	16.8	1000.7	0	0	607	4.35	728	7.7	
20/12/2018	1:00 p. m.	14.4	14.5	14.3	49	3.9	9.7 WSW	9.7 WSW	0.8	20.9 WSW	14	13.3	12.8	16.6	1000.6	0	0	524	3.76	571	6.7	
20/12/2018	1:05 p. m.	14.3	14.3	14.3	48	3.4	6.4 SW	6.4 SW	0.54	17.7 SW	14.3	13.1	13.1	16.4	1000.5	0	0	465	3.33	476	5.9	
20/12/2018	1:10 p. m.	14.3	14.3	14.3	48	3.5	4.8 WSW	4.8 WSW	0.4	17.7 WSW	14.3	13.2	13.2	16.5	1000.3	0	0	471	3.38	489	5.8	
20/12/2018	1:15 p. m.	14.3	14.4	14.3	50	4	8 WSW	8 WSW	0.67	19.3 W	14.1	13.2	13	16.8	1000.1	0	0	536	3.84	589	6.7	
20/12/2018	1:20 p. m.	14.4	14.4	14.3	49	3.8	8 W	8 W	0.67	22.5 SW	14.2	13.2	13	16.8	1000	0	0	532	3.81	596	6.3	
20/12/2018	1:25 p. m.	14.4	14.4	14.3	48	3.5	8 WSW	8 WSW	0.67	17.7 SW	14.2	13.2	13	16.3	1000	0	0	467	3.35	480	5.5	
20/12/2018	1:30 p. m.	14.4	14.4	14.3	45	2.6	6.4 S	6.4 S	0.54	14.5 WSW	14.4	13.1	13.1	16.6	999.9	0	0	501	3.59	547	6.7	
20/12/2018	1:35 p. m.	14.5	14.5	14.4	43	2.1	8 WSW	8 WSW	0.67	17.7 SW	14.3	13.2	12.9	15.7	999.8	0	0	413	2.96	438	4.9	
20/12/2018	1:40 p. m.	14.4	14.4	14.4	45	2.6	6.4 WSW	6.4 WSW	0.54	14.5 W	14.4	13.2	13.2	15.6	999.8	0	0	374	2.68	383	4.5	
20/12/2018	1:45 p. m.	14.4	14.4	14.4	45	2.6	4.8 WSW	4.8 WSW	0.4	12.9 SW	14.4	13.2	13.2	15.6	999.6	0	0	370	2.65	376	4.4	
20/12/2018	1:50 p. m.	14.5	14.6	14.4	46	3	3.2 SW	3.2 SW	0.27	12.9 SW	14.5	13.3	13.3	15.5	999.5	0	0	354	2.54	362	4.2	
20/12/2018	1:55 p. m.	14.6	14.6	14.6	45	2.7	4.8 SSW	4.8 SSW	0.4	12.9 SSW	14.6	13.3	13.3	15.3	999.4	0	0	336	2.41	341	3.9	
20/12/2018	2:00 p. m.	14.5	14.6	14.4	45	2.7	1.6 WNW	1.6 WNW	0.13	9.7 WNW	14.5	13.2	13.2	15.3	999.4	0	0	334	2.39	339	3.8	
20/12/2018	2:05 p. m.	14.4	14.5	14.4	44	2.3	1.6 WNW	1.6 WNW	0.13	6.4 WNW	14.4	13.1	13.1	15.3	999.2	0	0	351	2.52	366	3.9	
20/12/2018	2:10 p. m.	14.5	14.5	14.4	46	3	1.6 WNW	1.6 WNW	0.13	8 WNW	14.5	13.3	13.3	16	999.1	0	0	402	2.88	425	4.3	
20/12/2018	2:15 p. m.	14.6	14.7	14.5	44	2.4	0 WNW	0 WNW	0	4.8 WNW	14.6	13.2	13.2	16	998.9	0	0	409	2.93	427	4.5	
20/12/2018	2:20 p. m.	14.8	14.8	14.7	48	3.9	3.2 W	3.2 W	0.27	11.3 W	14.8	13.6	13.6	17.2	998.9	0	0	500	3.58	555	5.3	
20/12/2018	2:25 p. m.	14.9	15	14.8	45	3.1	1.6 WSW	1.6 WSW	0.13	11.3 WSW	14.9	13.6	13.6	17.7	998.7	0	0	594	4.26	656	5.8	
20/12/2018	2:30 p. m.	15.1	15.1	15	45	3.2	3.2 WSW	3.2 WSW	0.27	12.9 WSW	15.1	13.8	13.8	17.6	998.6	0	0	541	3.88	598	5	
20/12/2018	2:35 p. m.	15.1	15.1	14.9	46	3.5	6.4 WSW	6.4 WSW	0.54	14.5 WSW	15.1	13.8	13.8	16.2	998.5	0	0	349	2.5	397	3.7	
20/12/2018	2:40 p. m.	14.9	14.9	14.8	46	3.4	3.2 WSW	3.2 WSW	0.27	9.7 WSW	14.9	13.7	13.7	15.7	998.3	0	0	311	2.23	320	3.2	
20/12/2018	2:45 p. m.	14.8	14.9	14.8	46	3.3	3.2 W	3.2 W	0.27	8 W	14.8	13.6	13.6	15.6	998.2	0	0	307	2.2	308	3	
20/12/2018	2:50 p. m.	14.9	14.9	14.8	46	3.4	0 SW	0 SW	0	6.4 SW	14.9	13.7	13.7	15.7	998	0	0	303	2.17	306	2.9	
20/12/2018	2:55 p. m.	14.9	14.9	14.8	45	3.1	3.2 WSW	3.2 WSW	0.27	14.5 WSW	14.9	13.6	13.6	15.7	997.9	0	0	310	2.22	318	2.9	
20/12/2018	3:00 p. m.	14.8	14.8	14.8	46	3.3	1.6 WSW	1.6 WSW	0.13	6.4 WSW	14.8	13.6	13.6	15.9	997.9	0	0	328	2.35	341	2.9	
20/12/2018	3:05 p. m.	14.8	14.8	14.8	46	3.3	6.4 SW	6.4 SW	0.54	20.9 SW	14.8	13.6	13.6	16.2	997.8	0	0	348	2.49	360	3	
20/12/2018	3:10 p. m.	14.7	14.8	14.7	47	3.5	8 SW	8 SW	0.67	20.9 SW	14.6	13.5	13.3	16.2	997.7	0	0	373	2.67	385	3.1	
20/12/2018	3:15 p. m.	14.6	14.7	14.6	48	3.7	6.4 SW	6.4 SW	0.54	17.7 SW	14.6	13.4	13.4	16.5	997.7	0	0	392	2.81	418	3.1	
20/12/2018	3:20 p. m.	14.4	14.6	14.3	47	3.3	6.4 SW	6.4 SW	0.54	17.7 SW	14.4	13.2	13.2	16.5	997.6	0	0	404	2.9	448	3	

Anexo B. Trabajo de Campo: Mediciones eléctricas validadas.





**Anexo C. Trabajo de Campo: Mediciones eléctricas de prueba.**



