

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA INFORMÁTICA Y
MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

“ESTUDIO COMPARATIVO DE POTENCIA GENERADA POR PANELES FOTVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO”

PRESENTADO POR:

Br. JESUS HUAMAN ROMOACCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

Asesor:

Ing. LUIS JIMENEZ TRONCOSO

CUSCO-PERÚ

2018

PRESENTACIÓN

Señor:

Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica

En cumplimiento con la disposición de reglamento de grados y títulos vigentes con la finalidad de optar el título de ingeniero electrónico, presento mi consideración y la tesis intitulada **“ESTUDIO COMPARATIVO DE POTENCIA GENERADA POR PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO”**.

Br. JESUS HUAMAN ROMOACCA.

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza y valor para hacer las cosas correctas.

A mi Mamá **Raymunda Romoacca Layme** y mi Papá **Jesus Huaman Vallenas**, por brindarme el apoyo incondicional.

A mis hermanas Yudi Huaman Romoacca, Yovana Huaman Romoacca y mi hermano Abrahan Huaman Romoacca por su ayuda en todo momento.

A mis compañeros, amigos y a todos aquellos que me acompañaron a largo de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y a mis docentes que hacen posible del avance de la carrera en el Cusco, todo mi agradecimiento y respeto a ellos.

Al ing. Luis J. T. por apoyarme en la última etapa de mi carrera.

Al ing. Efraín A. Z. V. por la ayuda prestada, y por permitirme ser parte de este proyecto.

Finalmente a todas las personas que me ayudaron a realizar este trabajo, principalmente a todos los integrantes del Proyecto de Investigación Conectividad Rural.

INTRODUCCION

Actualmente la población en Cusco va en aumento y por tanto el consumo de la energía también, por ello surge la necesidad de nuevos métodos de obtenerla, ya que los métodos tradicionales como el petróleo, el carbón o el gas tienen efectos perjudiciales en el medio ambiente al emitir CO₂ a la atmósfera (causa principal del llamado efecto invernadero) y además su cantidad está limitada. Por esto surgen las llamadas energías renovables, dentro de las cuales destacan la energía solar fotovoltaica (uso de paneles fotovoltaicos), hidráulica y la energía eólica.

Actualmente la evolución de la electrónica durante los últimos años ha ido aumentando de forma considerable y es así que cada año aparecen equipos electrónicos que reemplazan a otros, de esta forma se reduce el tiempo de uso y a la vez también facilitando las necesidades que se presentan cada día en nuestras vidas. Uno de los más grandes avances de la tecnología es en el campo de los microcontroladores y microprocesadores que ayudan a resolver estas necesidades. Este trabajo nos brindará información de energía eléctrica que producen las dos tecnologías de paneles fotovoltaicos que servirá a la comunidad académica y al sector empresarial interesados en este tema, para poder diseñar, evaluar de mejor manera sistemas fotovoltaicos, esto será un aporte para el desarrollo de la ciudad de Cusco.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis detalla el análisis del estudio comparativo de potencia generada por paneles fotovoltaicos monocristalino (modelo Sunmodule SW 80 mono RHA) y policristalino (modelo Sunmodule SW150 poly R6A) desarrollado dentro de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

El estudio consistió en hacer seguimiento a los paneles fotovoltaicos en los parámetros de voltaje, corriente y potencia además de la eficiencia bajo la radiación solar, temperatura y humedad de Cusco; para lo cual se tuvo que diseñar un medidor digital versátil en base a un PIC16f877A, los cuales se encuentran instalados en el observatorio de Energía Renovable de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la UNSAAC, además se desarrolló un servidor web con el módulo Raspberry pi 3 que registra los parámetros de evaluación, también se desarrolló un software en el lenguaje PHP para mostrar gráficas de los parámetros. Este estudio comparativo se utilizó datos obtenidos por los sensores y dispositivos de medida de voltaje y corriente, los cuales son indicadores de la eficiencia de paneles fotovoltaicos, la comparación de potencias se hizo a través de tablas y gráficos para establecer diferencias y similitudes entre ambos paneles.

Obteniéndose voltajes con valores de 13.92V a 18.48V del panel monocristalino y 9.65V a 16.10V para el panel policristalino y valores de corrientes de 6.8 A a 8.56 A del panel monocristalino y 5.31 A a 8.37 A del panel policristalino con temperatura ambiental promedio de 16.77 °C y humedad relativa promedio de 44.61%. Llegando a observar en el estudio una superioridad de 2.73% del panel monocristalino con una eficiencia de 18.40% al panel policristalino con una eficiencia de 15.67% en conversión de energía eléctrica.

ABSTRACT

The present thesis work details the analysis of the comparative study of the power generated by monocrystalline photovoltaic panels (model Sunmodule SW 80 mono RHA) and polycrystalline (model Sunmodule SW150 poli R6A) developed within the School of Electronic Engineering of the National University of San Antonio Abad of Cusco.

The study consisted in following up the photovoltaic panels on the parameters of voltage, current and power, as well as the solar efficiency, temperature and humidity of Cusco; for what had to be done a versatile digital meter in a PIC16f877A base, which are in the Renewable Energy observatory of the Electronic Engineering Professional School of the UNSAAC, in addition to a web server with the Raspberry pi 3 module that registers the evaluation parameters, also that software is found in the PHP language to show graphs of the parameters. This comparative study is translated into the energy indicators of the photovoltaic systems, the comparison of powers and the results.

Obtaining voltages with values of 13.92V to 18.48V of the monocrystalline panel and 9.65V to 16.10V for the polycrystalline panel and current values of 6.8 A to 8.56 A of the monocrystalline panel and 5.31 A to 8.37 A of the polycrystalline panel with ambient temperature 16.77 ° C and average relative humidity of 44.61%. To arrive to observe in the study a superiority of 2.73% of the monocrystalline panel with an efficiency of 18.40% to the polycrystalline panel with an efficiency of 15.67% in the conversion of electrical energy.

INDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INTRODUCCION.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
CAPITULO 1	1
1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.7. ALCANCES.....	7
1.8. LIMITACIONES	7
1.9. METODOLOGÍA.....	8
CAPITULO 2	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. CONCEPTOS Y PARÁMETROS DE RADIACIÓN SOLAR	10
2.1.1. ENERGÍA SOLAR.....	10
2.1.2. EL SOL	10
2.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR	11
2.1.4. IRRADIANCIA Y CONSTANTE SOLAR	12
2.1.5. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN.	12
2.1.6. MASA DE AIRE	13
2.2. CONCEPTOS ELEMENTALES DE ASTRONOMÍA DE POSICIÓN SOLAR	15
2.2.1. DECLINACIÓN SOLAR.....	16
2.2.2. POSICIÓN DEL SOL RESPECTO A UN PUNTO DE LA TIERRA.....	16
2.2.3. TRAYECTORIA APARENTE DEL SOL	17
2.2.4. DETERMINACIÓN DE INCIDENCIA SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE.....	18
2.2.5. ÁNGULO DE ALTITUD DEL SOL AL MEDIODÍA SOLAR.....	19
2.3. CELDAS Y MODULOS FOTOVOLTAICOS	20
2.3.1. FÍSICA BÁSICA DEL SEMICONDUCTOR.....	20
2.3.2. EL PRINCIPIO DE TRABAJO DE UNA CÉLULA SOLAR	21
2.3.3. CÉLULA FOTOVOLTAICA GENÉRICA.....	24

2.3.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS	28
2.3.5. LOS TIPOS DE MODULOS FOTOVOLTAICOS QUE ESTUVIERON EN ESTUDIO	30
2.3.6. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	33
2.4. FUNDAMENTO TEORICO DE UNA ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)	33
CAPITULO 3	34
3. REQUERIMIENTO TECNICO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	34
3.1. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN ÓPTIMA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	35
3.1.1. UBICACIÓN DE LOS PANELES SOLARES	35
3.1.2. HERRAMIENTAS PARA LA UBICACIÓN DEL SOL.....	36
3.2. INSTALACION DE LA ESTACIÓN METEOROLOGICA	39
3.3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR 16F877A Y MODULO RASPBERRY PI.	42
3.3.1. SENSORES.....	43
3.3.2. MICROCONTROLADOR (PIC).....	44
3.3.3. ELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR	44
3.3.4. MODULO RASPBERRY PI.....	45
3.4. COMPONENTES QUE INTERGRAN EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DATOS.....	46
3.5. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE COMUNICACION DEL SAD	48
3.5.1. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	48
3.5.2. PROGRAMACIÓN DEL RASPBERRY PI	51
3.6. DESARROLLO DEL SERVIDOR WEB	55
3.6.1. RASPBERRY PI COMO SERVIDOR WEB	55
3.6.2. DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS PARA PARAMETROS ELECTRICOS.....	62
3.6.3. DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS PARA PARAMETROS METEOROLOGICOS.	63
3.7. ELABORAR UN SISTEMA DE CARGAS PARA REALIZAR EL ESTUDIO COMPARATIVO DE POTENCIAS.	63
CAPITULO 4	66
4. ADQUISICION Y ANALISIS DE DATOS.....	66
4.1. EL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	67
4.2. RESULTADO DEL SISTEMA DE CARGA	68
4.3. DETERMINAR LAS VARIABLES TALES COMO LA RADIACIÓN SOLAR, TEMPERATURA Y HUMEDAD QUE AFECTAN EN LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA.....	69
4.3.1. DETERMINAR LA RADIACIÓN SOLAR DIARIA.....	69
4.3.2. DETERMINAR DE LA TEMPERATURA AMBIENTE DIARIA.....	74
4.3.3. DETERMINAR DE LA HUMEDAD DIARIA	77
4.4. DETERMINACION LA POTENCIA GENERADA POR PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS.	81

4.5. EVALUAR Y COMPARAR LA EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	84
4.6. DESCRIPCION DE LOS RESULTADOS OBTENIDO DEL ESTUDIO.....	86
4.6.1. INFLUENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN LA POTENCIA GENERADA POR EL PANEL MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO	86
4.6.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA POTENCIA GENERADA POR EL PANEL MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO	88
4.6.3. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LA POTENCIA GENERADA POR PANEL MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO.	90
CAPITULO 5	93
5. PRESUPUESTO	93
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXO 1 DESARROLLO DE LOS CODIGOS DE PROGRAMACION	102
ANEXO 2 DESARROLLO DEL SISTEMA DE ADQUISICION	125
ANEXO 3 HOJAS DE DATOS DE LOS EQUIPOS	133
ANEXO 4 RESULTADOS DATOS DE VOLTAJE, CORRIENTE	144
ANEXO 5 FOTOS	150
ANEXO 6 GRAFICAS DE LOS RESULTADOS.....	156

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Diagrama polar trayectoria del sol: Cusco [1].....	2
Figura 2-1 El Sol con su estructura de capas [11].....	10
Figura 2-2 Distribución espectro de un cuerpo negro 5900 K [8]	11
Figura 2-3 Componentes de la radiación solar [12]	13
Figura 2-4 Angulo cenital y la masa de aire [13]	14
Figura 2-5 Masa de aire dentro y fuera de la atmosfera de la tierra [13].....	14
Figura 2-6 Espectro solar en AM 1.5. [12].....	15
Figura 2-7 Movimiento de la tierra respecto al sol [9].....	15
Figura 2-8 Posición del sol. [9]	17
Figura 2-9 Trayectoria del sol. [9].....	18
Figura 2-10 Trayectoria aparente del sol e incidencia solar sobre una superficie [9]	18
Figura 2-11. Un colector orientado al norte inclinado hasta un ángulo igual a su latitud es perpendicular a los rayos del sol en el mediodía solar durante los equinoccios. [12]	19
Figura 2-12. El ángulo de altitud del sol en el mediodía solar [12]......	20
Figura 2-13. Σ Angulo de inclinación del panel solar (llamado también Tilt) [12].....	20
Figura 2-14 (a) Estructura del silicio con sus 14 protones y electrones (b) abreviatura de (a) [12]	21
Figura 2-15 (a) No se rompen el enlace (b) Se rompe un enlace entre dos átomos de silicio resultando en un electrón libre y un agujero. [11].....	21
Figura 2-16 efecto fotoeléctrico [3]	22

Figura 2-17 Un modelo de células solares y sus procesos básicos [11].	23
Figura 2-18 El proceso de dopaje [11].	23
Figura 2-19 Cuando los fotones crean pares de agujeros-electrones cerca de la unión, el campo eléctrico en la región de agotamiento barre los agujeros en el lado p y barre los electrones hacia el lado n de la célula [12].	24
Figura 2-20 Los electrones fluyen desde el contacto n-lateral, a través de la carga, y de vuelta al lado p donde se recombinan con agujeros. La corriente convencional I está en la dirección opuesta [12].	25
Figura 2-21 Estructura de la celda solar [14].	25
Figura 2-22 celdas fotovoltaicas monocristalino [Elaboración propia].	26
Figura 2-23 celda fotovoltaica policristalino [Elaboración propia].	26
Figura 2-24 Se ilustra las conexiones de las células solares [11].	27
Figura 2-25 (a) No se suministra potencia cuando el circuito está abierto (b) o cuando esta cortocircuitado (c) Cuando la carga está conectada, aparece una potencia [12].	29
Figura 2-26 Curva I -V y salida de potencia para un módulo fotovoltaico [12].	29
Figura 2-27 El punto máximo de potencia (MPP) corresponde al rectángulo más grande que puede encajar debajo de la curva I -V [12].	30
Figura 2-28 Modulo monocristalino [fuente hoja de datos del módulo Monocristalino].	31
Figura 2-29 Modulo Policristalino [fuente hoja de datos del módulo Policristalino].	31
Figura 2-30 Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos [2].	33
Figura 3-1. Ubicación de los paneles en Cusco – Perú [Mapa de Google Earth].	35
Figura 3-2 Radiación incidente para un módulo fotovoltaico con inclinación de 13° [16].	36
Figura 3-3. Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria [software Geosol].	37
Figura 3-4. Carta solar (ubicación del sol con respecto de la superficie terrestre) [Software Geosol]	37
Figura 3-5. Trayectorias del sol: Cusco 13.521131 latitud sur y 71.956814 longitud oeste [Weather Tool]	38
Figura 3-6 Estación meteorológica Vantage pro 2 instalada [Fotografía tomada en la UNSAAC].	39
Figura 3-7 Pirómetro [Fuente hoja de datos del Vantage pro 2].	40
Figura 3-8 Panorama de la Instalación paneles y la estación meteorológica [Fotografía tomada en la escuela profesional de Ingeniería Electrónica UNSAAC].	42
Figura 3-9 Estructura de un DAS de un único canal [17].	42
Figura 3-10 Raspberry pi 3. [18].	45
Figura 3-11 Pines GPIO del Raspberry pi [19].	46
Figura 3-12 Circuito básico del circuito MAX232 [5].	48
Figura 3-13 Diagrama de flujo del programa del microcontrolador [Elaboración propia].	49
Figura 3-14 Código de programación en c del microcontrolador 16F877A del PIC C Compiler [Elaboración-propia].	50
Figura 3-15 Simulación de los sensores de voltaje y corriente en Proteus ISIS 7 [Elaboración-propia].	50
Figura 3-16 Simulación de la comunicación serial RS232 del PIC a la computadora [Elaboración-propia].	51
Figura 3-17 Diagrama de flujo de la programación del microcomputador para los parámetros de radiación, temperatura y humedad [Elaboración propia].	52
Figura 3-18 Código de programación en Python para la estación meteorológica [Elaboración propia].	53
Figura 3-19 Diagrama de flujo de la programación de la Raspberry pi 3 para los parámetros de voltaje y corriente [Elaboración propia].	53

Figura 3-20 Código de programación en Python para los parámetros de los paneles fotovoltaicos [Elaboración propia].....	54
Figura 3-21 Diagrama de bloques para el sistema de comunicación con el servidor web [Elaboración propia].....	55
Figura 3-22 Envío y Recepción de una petición a un servidor web.....	55
Figura 3-23 Procedimiento de una solicitud a un servidor Web a través del lenguaje PHP:.....	56
Figura 3-24 Archivo etc/php5/apache2/php.ini en el Raspberry pi 3 [Elaboración propia].	60
Figura 3-25 Base de datos en Phpmyadmin [Elaboración propia].	61
Figura 3-26 Parámetros de voltaje corriente y potencia de ambos paneles fotovoltaicos en la base de datos [Elaboración propia].	62
Figura 3-27 Parámetros de radiación, temperatura y humedad en la base de base de datos [Elaboración propia].....	63
Figura 3-28 Un panel que suministra potencia a una carga resistiva. A medida que la resistencia cambia, el punto de operación se mueve en la curva I -V. [12].....	64
Figura 3-29 Cargas resistivas de nicrom cada uno utilizadas para el estudio [Elaboración propia].	65
Figura 3-30 Cargas electrónicas de 60 W cada uno utilizadas para el estudio [Elaboración propia]. ..	65
Figura 4-1 Esquema del sistema eléctrico para las medidas de voltaje-corriente, radiación temperatura y humedad [Elaboración propia].	67
Figura 4-2 Programación en PHP para determinar la radiación global [Elaboración propia].	70
Figura 4-3 Gráficas de radiación solar diaria sombreada 27-04-2017 [Elaboración propia].	71
Figura 4-4 Gráfica de radiación solar diaria soleado-nublado 02-05-2017 [Elaboración propia].	71
Figura 4-5 Gráfica de la radiación solar diaria soleado con nubosidad 19-05-2017 [Elaboración propia].....	72
Figura 4-6 Promedio mensual de Radiación Solar en Cusco [Elaboración propia].	73
Figura 4-7 Programación en PHP para determinar la temperatura ambiente [Elaboración propia]....	74
Figura 4-8 Gráficas de temperatura diaria sombreada 27-04-2017 [Elaboración propia].....	75
Figura 4-9 Gráfica de temperatura diaria soleado-nublado 02-05-2017 [Elaboración propia].	75
Figura 4-10 Gráfica de la temperatura diaria soleado con nubosidad 19-05-2017 [Elaboración propia].	76
Figura 4-11 Promedio mensual de Temperatura Ambiente en Cusco [Elaboración propia].	77
Figura 4-12 Programación en PHP para determinar la humedad relativa [Elaboración propia].	77
Figura 4-13 Gráficas de humedad diaria 25-04-2017 [Elaboración propia].	78
Figura 4-14 Gráfica de humedad diaria soleado-nublado 02-05-2017 [Elaboración propia].	78
Figura 4-15 Gráfica de la humedad diaria soleado con nubosidad 19-05-2017 [Elaboración propia].	79
Figura 4-16 Promedio mensual de Humedad Relativa en Cusco [Elaboración propia].	80
Figura 4-17 Potencia generada por el panel monocristalino y policristalino [Elaboración propia].....	82
Figura 4-18 Promedio mensual de Potencia de los paneles en Cusco con carga electrónica [Elaboración propia].....	83
Figura 4-19 Promedio mensual de Potencia de los paneles en Cusco con carga de nicrom [Elaboración propia].....	84
Figura 4-20 Potencia en función de Radiación Solar del panel monocristalino [Elaboración propia]. .	86
Figura 4-21 Potencia en función de Radiación Solar del panel policristalino [Elaboración propia].	87
Figura 4-22 Máxima potencia panel monocristalino en función de la temperatura ambiente [Elaboración propia].....	88
Figura 4-23 Máxima potencia panel policristalino en función de la temperatura ambiente [Elaboración propia].....	89
Figura 4-24 Potencia panel monocristalino en función de la humedad relativa [Elaboración propia].	90
Figura 4-25 Potencia panel policristalino en función de la humedad relativa [Elaboración propia]. ...	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Algunos datos sobre el Sol	10
Tabla 2.2 Características físicas de los módulos [Obtenida de su hoja de datos de los módulos]	32
Tabla 2.3 Características eléctricas de los módulos [Obtenida de su hoja de datos de los módulos]	32
Tabla 3.1. Inclinação de los paneles en cada estación del año (Elaboración propia)	38
Tabla 3.2 Especificaciones - entrada de sensores de la estación meteorológica [Elaboración propia].	41
Tabla 3.3 Datos básicos de los microcontroladores para la elección del mismo	44
Tabla 3.4 Resistencia máxima para la potencia máxima de los paneles [Elaboración propia].	64
Tabla 4.1 Medidas de los datos climatológicos radiación solar de la estación meteorológica [Elaboración propia].	73
Tabla 4.2 Medidas de los datos climatológicos Temperatura de la estación meteorológica [Elaboración propia].	76
Tabla 4.3 Medidas de los datos climatológicos Humedad de la estación meteorológica [Elaboración propia].	79
Tabla 4 Promedio mensual de las variables climatológicas en Cusco 2017 [Elaboración propia].	80
Tabla 4.5 Medidas de los datos de potencia instantánea de los paneles con carga electrónica [Elaboración propia].	82
Tabla 4.6 Medidas de los datos de potencia instantánea de los paneles con carga resistiva de nicrom.	83
Tabla 4.7 Especificaciones técnicas de los paneles a condiciones estándares [Elaboración propia].	85
Tabla 4.8 Especificaciones técnicas de los paneles a condiciones TONC [Elaboración propia].	85
Tabla 4.9 Especificaciones técnicas de los paneles a condiciones experimentales [Elaboración propia].	85
Tabla 10 Variaciones de potencia con respecto a la radiación temperatura y humedad (con potencia mayor a 60 W) [Elaboración propia].	91
Tabla 11 Coeficiente de Determinación de la potencia con la radiación, temperatura y humedad (con potencia mayor a 60 W) [Elaboración propia].	92
Tabla 12 Coeficiente de Determinación de la potencia con la radiación, temperatura y humedad (con potencia menores a 60 W) [Elaboración propia].	92

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.2. ANTECEDENTES

En [1] se elaboró la trayectoria del sol para el Cusco, proporcionando así la posición del sol a cualquier hora de un día en las diferentes estaciones del año. Concluyendo la necesidad de contar con una Estación Meteorológica como instrumento adecuado para el registro de la Radiación Solar resaltando la importancia de registrar y evaluar en forma permanente el Recurso Solar en diferentes zonas de Cusco.

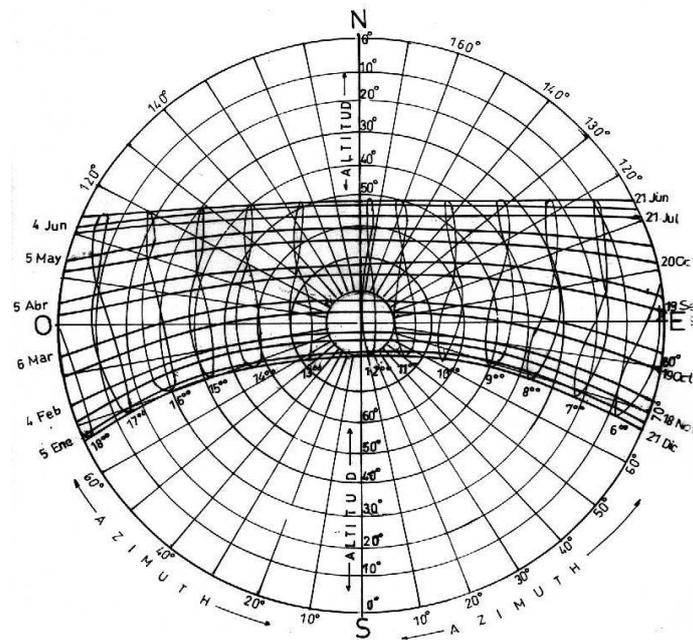


Figura 1-1 Diagrama polar trayectoria del sol: Cusco [1]

En [2] el estudio realizado en España, indica que para poder calcular la energía producida por un sistema fotovoltaico será necesario contar con información sobre la radiación incidente en el plano de su generador (panel fotovoltaico), cuando se quiere predecir la energía producida por el sistema fotovoltaico en un tiempo futuro, lo primero es en estimar la irradiancia que data sobre el comportamiento de la radiación solar en un lugar específico.

En [3] indica que Perú cuenta con condiciones favorables para el desarrollo de proyectos de energía solar en zonas de la Sierra Sur del país, concluyendo que la energía solar

alcanza niveles promedio no menores de $6 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ (una de las mejores radiaciones a nivel mundial). Además indica que la Universidad Agraria La Molina obtuvo los resultados en toda la franja central de la Sierra un nivel de radiación solar del orden de 5 a $6 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

Según [4, p. 56] La curva característica corriente - tensión (I-V) del generador fotovoltaico se ve afectada por factores ambientales tales como la intensidad de iluminación, temperatura y la distribución espectral de la luz.

Concluye que los módulos monocristalinos tienen un mejor rendimiento [4, p. 105] a temperatura de 50°C con un error de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ los módulos monocristalinos tiene perdidas de corriente respecto a la temperatura, estas pérdidas son menores en los módulos policristalinos.

En [5, p. 5] indica que se diseñó un circuito que funciona con divisores de voltaje para adquirir e incidir parámetros (voltaje, corriente, potencia y temperatura) a una tarjeta de adquisición de datos por medio de un ADC. Posteriormente trabajó en la programación del desarrollo del software que sirvió como medio de comunicación con el usuario para fácil interpretación de las variables de interés.

La tesis [6] concluye en Cusco la máxima radiación que se puede obtener es cuando la superficie que recoge la radiación solar esta inclinada entre 0° a 15° y orientada entre 0° y 30° respecto al norte.

La radiación solar cae sobre una superficie plana y orientado al hemisferio norte durante los meses de enero y febrero alcanza una radiación solar un máximo de 630W/m^2 y se incrementa en el mes de marzo manteniéndose constante durante los meses de abril a julio alrededor de 700Wh/m^2 con un descenso por debajo de los 630Wh/m^2 en el mes de junio para meses de agosto a diciembre se mantiene por encima de los 700Wh/m^2 siendo esto los valores máximos durante el año.

La metodología que menciona [7] para determinar la cantidad de potencia que puede generar las celdas fotovoltaicas se pueden usar dos diferentes modelos: modelo eléctrico y modelo matemático. El método analítico matemático (por comportamiento de Gil Aria y Ortiz Rivera), los parámetros que considera este método son: Condiciones ambientales, nivel de irradiancia, temperatura, valores de pruebas realizadas por el fabricante (características propias de células Fotovoltaicas) y conexión de las células Fotovoltaicas que pueden estar en serie, paralelo o ambos.

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre $0,4 \mu\text{m}$ y $0,7 \mu\text{m}$ pueden ser detectadas por el ojo humano [8]. También desarrolló la comparación de potencia generada por un panel con seguidor solar y con un panel estático concluyendo que el panel en movimiento es 20% más eficiente que el estático esto realizado en Puebla de México.

El estudio que realizó en [9] concluye que al aumentar la irradiación, la potencia del generador fotovoltaico aumenta y a medida que la temperatura de operación aumenta, la potencia de salida disminuye.

Según información [1] el Perú, gracias a su favorable ubicación geográfica tiene una cercanía al Ecuador y la gran altitud de gran parte de su territorio (cordillera de los Andes) cuenta con elevados niveles de radiación solar (700 a 1000 W/m^2), ofreciendo un gran potencial para su utilización en diferentes tecnologías.

1.3. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

Ante la necesidad de incursionar a la utilización de energías en el Cusco se tiene una limitada experiencia y conocimiento en temas de energías renovables (paneles fotovoltaicos) y carece de datos con respecto a la energía que producen los paneles

fotovoltaicos, **esto representan una limitante para aceptar ampliamente estas tecnologías.**

Las tecnologías utilizadas en los módulos fotovoltaicos (celdas solares) se distinguen principalmente por la eficiencia de conversión energética. **En consecuencia, la selección del panel fotovoltaico es determinante para el rendimiento a largo plazo de una instalación generadora fotovoltaica.** Por lo tanto, dicha selección debe estar soportada por resultados experimentales obtenidos bajo un entorno de operación específico [10].

Por ello se ve la necesidad de realizar un estudio de la producción de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos para la selección adecuada bajo la influencia de los factores de la **radiación solar**¹, temperatura y humedad.

Por lo tanto **se desconoce los efectos que producen la radiación solar, temperatura y humedad en Cusco en la generación de energía eléctrica por los paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos.**

1.4. JUSTIFICACIÓN

La principal motivación de realizar este estudio es que se podrá ver con mayor detalle la producción de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos (ver la calidad de panel), en un periodo determinado y ante las condiciones ambientales de radiación solar, temperatura y humedad de Cusco, que servirá a la comunidad académica y al sector empresarial interesados en este tema (desarrolladores de sistemas de generación fotovoltaica), para poder seleccionar y dimensionar de mejor manera la carga que pueda abastecer estos paneles fotovoltaicos, esto será un aporte para el desarrollo humano.

¿Porque y que tanto es conveniente llevar a cabo este tema de tesis o para que sirve este trabajo de investigación?

¹ La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). <http://www.oni.esuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/radiacionsolar.html>

La selección del panel fotovoltaico es muy importante en una instalación de sistemas fotovoltaicos, de esta manera se busca el aprovechamiento y utilización óptima de la energía solar y que contribuirá a realizar una adecuada selección y diseño en una instalación de un sistema fotovoltaico.

¿Cuáles son los beneficios que este trabajo proporcionará?

A obtener y validar los parámetros que influyen en la generación de energía por los paneles fotovoltaicos en un entorno urbano.

¿Quiénes serán los beneficiarios y de qué modo?

Los desarrolladores de sistemas de generación fotovoltaica podrán ver el funcionamiento de estos paneles fotovoltaicos (potencia que generan) en condiciones ambientales de Cusco. Será un aporte al proyecto de investigación CONECTIVIDAD RURAL “ESTUDIO DE POSIBILIDADES DE ACCESIBILIDAD E INCORPORACION DE LAS TECNOLOGIAS DE INFORMACION Y COMUNICACIÓN EN ZONAS RURALES DE LA REGION CUSCO”.

1.5. OBJETIVO GENERAL

Determinar, comparar y analizar la potencia generada por paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos en sistemas fijos bajo efectos de la radiación solar, temperatura y humedad de Cusco en un entorno urbano.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un sistema de adquisición de datos que permita medir el voltaje y la corriente de los paneles fotovoltaicos monocristalinos, policristalinos.
- Elaborar un sistema de cargas para realizar el estudio comparativo de potencias.
- Determinar las variables tales como la radiación solar, temperatura y humedad que afectan en la producción eléctrica fotovoltaica.

- Determinar la potencia generada por paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos.
- Evaluar y comparar la eficiencia de conversión de energía de los paneles fotovoltaicos

1.7. ALCANCES

Se analizó la potencia del generador fotovoltaico (que entrega a una carga estática) bajo de la influencia de la radiación directa y difusa (bajo presencia de nubes), temperatura y el ángulo de inclinación es decir en condiciones ambientales de operación.

En dicho estudio se realizó la comparación y determinación del comportamiento de potencia generada de cada uno de los paneles fotovoltaico.

1.8. LIMITACIONES

La presente tesis abarca únicamente el estudio de dos tecnologías de paneles monocristalinos y policristalinos bajo efectos de radiación solar, temperatura y humedad que son los parámetros influyentes en la producción de energía.

El estudio se realizará en un periodo de 2 meses (1 mes temporada de lluvias y 1 mes estaciones secano)

La altitud en la que se encuentra el Cusco y su proximidad al ecuador genera una variedad de climas en los que se distinguen dos estaciones bien definidas: La estación de lluvias, que va de noviembre febrero o marzo. La media de las precipitaciones anuales fluctúa entre los 600 a 1000 mm. La estación de secano, de febrero o marzo hasta octubre. Durante el mes de junio la temperatura cae frecuentemente hasta 5° ó 7°C e inclusive puede llegar a bajo cero.

1.9. METODOLOGÍA

- Recopilación de información disponible acerca de la energía del sol, los módulos fotovoltaicos y del sistema de adquisición de datos.
- Selección, adquisición y conocimiento del módulo de adquisición de datos
- Desarrollo del sistema de adquisición de datos
- Programación del software de adquisición para la base de datos
- Implementación del sistema de adquisición de datos.
- Recolección de los datos necesarios para el estudio.
- Análisis de la información recolectada

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS Y PARÁMETROS DE RADIACIÓN SOLAR

2.1.1. ENERGÍA SOLAR.

La energía solar son fotones de luz que se propagan como una energía radiante del sol a la tierra en forma de ondas electromagnéticas.

2.1.2. EL SOL

El sol es una estrella formada principalmente de hidrogeno y una pequeña proporción de helio, en la que se desarrolla una gran cantidad de energía debido a una reacción nuclear de fusión, reacción que tiene lugar gracias a las altas temperaturas y presiones que alcanzan en su interior [11]

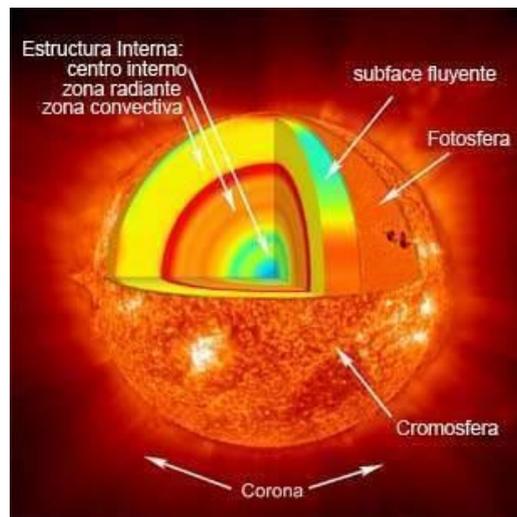


Figura 2-1 El Sol con su estructura de capas [11]

Los datos más interesantes acerca del sol se muestra en las siguiente tabla1 estos datos se obtuvieron de [11]:

Tabla 2.1 Algunos datos sobre el Sol

Distancia media de la Tierra:	149 600 000 km (la unidad astronómica, AU)
Diámetro:	1 392 000 km
Volumen:	1 300 000
Masa:	1.993×10^{27} kg (332 000 veces la de la Tierra)

Densidad (en su centro):	$> 10^5 \text{ kg m}^{-3}$ (más de 100 veces la del agua)
Presión (en su centro):	más de mil millones de atmósferas
Temperatura (en su centro):	aproximadamente 15 000 000 K
Temperatura (en la superficie):	6 000 °K
Radiación de energía:	$3.8 \times 10^{26} \text{ W}$
La Tierra recibe:	$1.7 \times 10^{18} \text{ W}$
La luz tarda en llegar a la tierra	8 minutos

2.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

La energía solar llega en forma de radiación electromagnética o luz. La radiación electromagnética, son ondas producidas por la oscilación a la aceleración de una carga eléctrica.

Esta distribución espectral hace que se considere que la radiación solar, o de onda corta, procedente del sol tiene longitudes de entre $0.3 \mu\text{m}$ y $4 \mu\text{m}$ [8, p. 17]... las ondas electromagnéticas que transportan mayor cantidad de energía provenientes del sol tienen

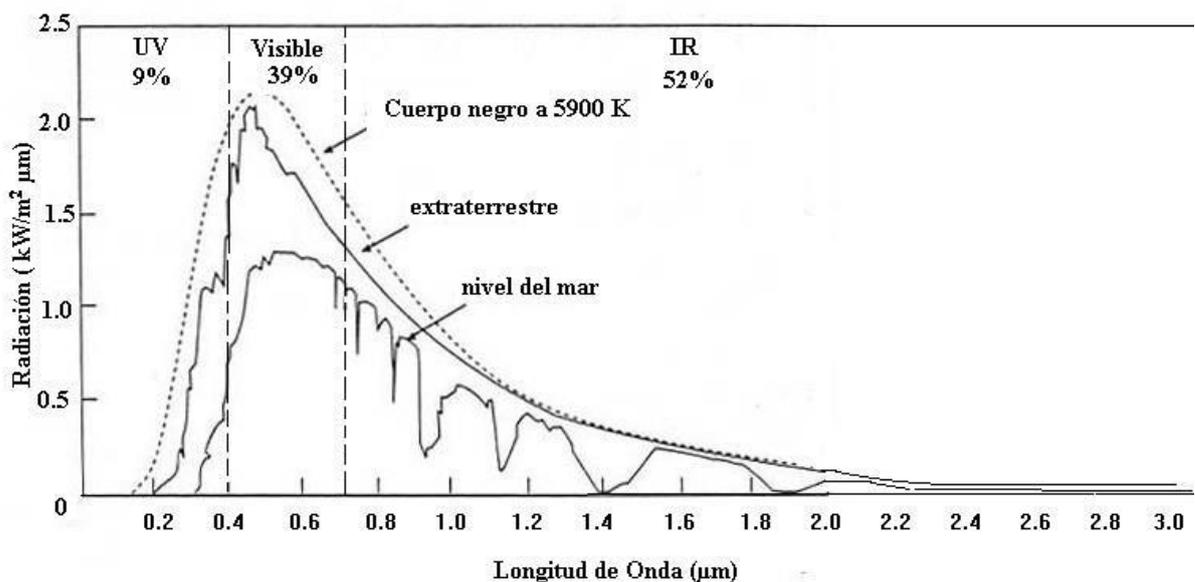


Figura 2-2 Distribución espectral de un cuerpo negro 5900 K [8]

una longitud de onda aproximadamente de $0.55\mu\text{m}$. Es por ello que casi la mitad de la energía solar que recibimos se encuentra en la región visible del espectro [8]

2.1.4. IRRADIANCIA Y CONSTANTE SOLAR

La irradiancia es la magnitud que describe la radiación solar que llega hasta nosotros, como una potencia instantánea por unidad de superficie. Su unidad W/m^2 .

La irradiación es la de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Su unidad es el Wh/m^2 (vatio x metro 2), en caso de un día, $\text{Wh}/\text{m}^2/\text{día}$.

La cantidad de energía solar que llega a la parte superior de la atmosfera de la tierra por metro cuadrado de superficie perpendicular, se llama a menudo constante solar.

Basándose en las primeras mediciones de la NASA, la constante solar se tomó a menudo de $1.353 \text{ kW} / \text{m}^2$, pero ahora el valor más comúnmente aceptado es $1.377 \text{ kW} / \text{m}^2$ [12, p. 411].

2.1.5. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN.

La irradiancia se atenúa disminuyendo su valor respecto a la cima de la atmosfera. La atenuación de la radiación hasta la superficie es de un 25%. Por ello una irradiación de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ se utiliza como valor de condiciones de test estándar (STC Standard Test Conditions) de referencia en la ingeniería relacionada con la energía solar [8].

A consecuencia de la interacción de la radiación solar con la atmosfera la energía que llega a la superficie tiene 3 componentes, la directa la difusa y la de albedo.

a) IRRADIANCIA O RADIACIÓN DIRECTA:

Aquella que procede del sol e incide sobre la superficie sin cambiar de dirección, es una radiación que proviene de una dirección claramente definida

b) IRRADIANCIA O RADIACIÓN DIFUSA:

Es la que se recibe del sol, después de ser desviada por la dispersión atmosférica

c) IRRADIANCIA O RADIACIÓN ALBEDO:

Radiación que llega a la superficie, después de haberse reflejado en la superficie del entorno. El conjunto de radiaciones que alcanza la superficie es la radiación global

El porcentaje en la radiación global de una u otra componente depende de las condiciones meteorológicas. Cuanto más nublado es el día más importante es la radiación difusa y por el contrario en días despejados la componente directa representa la mayor parte.

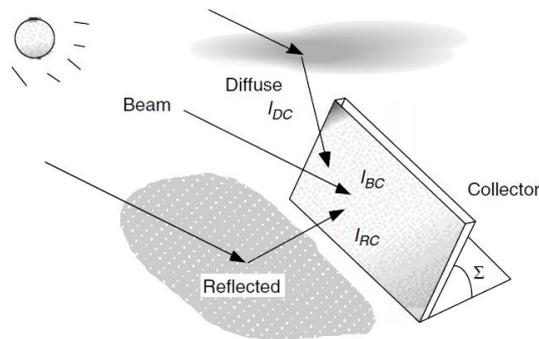


Figura 2-3 Componentes de la radiación solar [12]

2.1.6. MASA DE AIRE

La cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre, así como su distribución espectral, depende en gran medida la distancia y densidad de masa de aire que tiene que atravesar los rayos del sol.

La longitud de la trayectoria tomada por los rayos del sol a través de la atmósfera para alcanzar un punto en la superficie terrestre, dividido por la longitud de la trayectoria correspondiente al sol directamente sobre el cenit, se llama la razón de la masa de aire, m y viene dada por la siguiente ecuación (2.1) planteada en [12]

$$\text{Relación de masa de aire } m = \frac{1}{\cos\theta} \quad (2.1)$$

Por lo tanto, una relación de masa de aire de 1 (designada "AM1") significa que el sol está directamente sobre la cabeza.

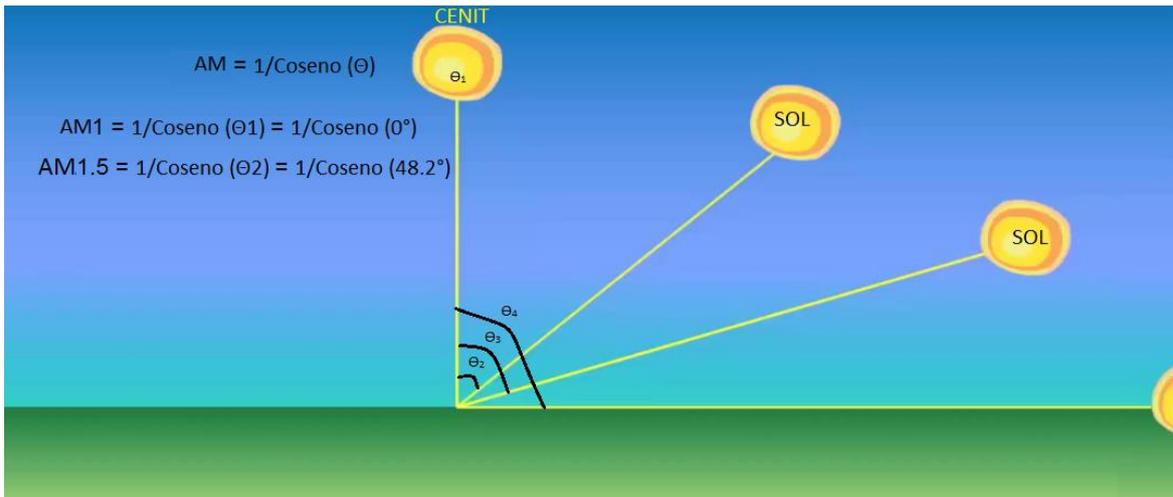


Figura 2-4 Angulo cenital y la masa de aire [13]

Por convención, AM0 significa ninguna atmósfera; es decir, es el espectro solar extraterrestre, que refiere las condiciones en el exterior de la atmosfera, importante para las aplicaciones fotovoltaicas en los satélites ver en la Figura 2-5

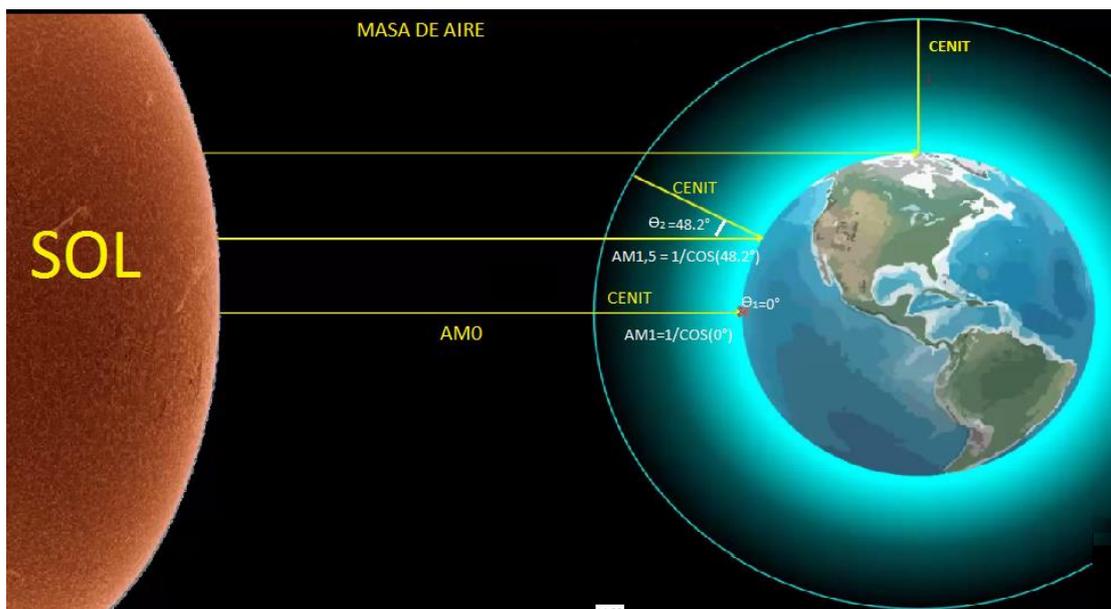


Figura 2-5 Masa de aire dentro y fuera de la atmosfera de la tierra [13]

Para la mayoría de los trabajos fotovoltaicos, la relación de masa de aire de 1.5 correspondiente al sol de 41.8 grados sobre el horizonte o con respecto a cenit 48.2 grados. AM1.5 se emplea para las calibraciones y certificaciones de los módulos fotovoltaicos. El espectro solar en AM 1.5 se muestra en la Figura 2-6.

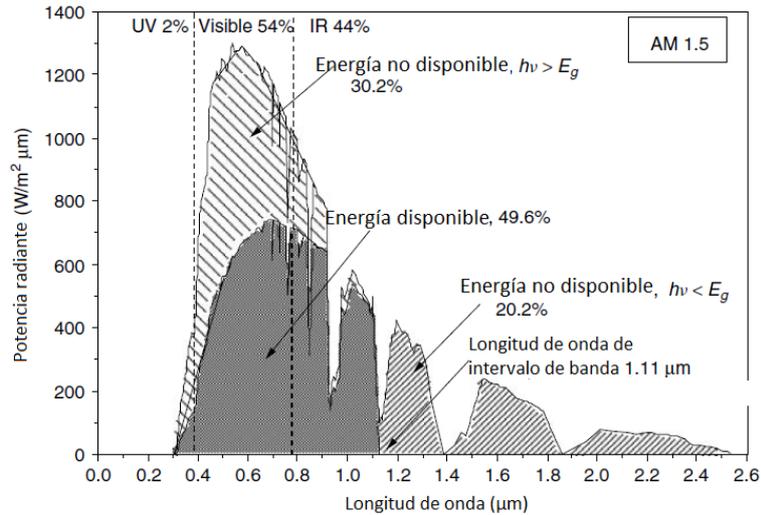


Figura 2-6 Espectro solar en AM 1.5. [12]

Los fotones con longitudes de onda superiores a 1,11 μm no tienen suficiente energía para excitar electrones (20,2% de la energía solar entrante); aquellos con longitudes de onda más cortas no pueden utilizar toda su energía, lo que representa otro 30,2% no disponible para una célula fotovoltaica de silicio. El espectro se basa en ERDA / NASA (1977) [12].

2.2. CONCEPTOS ELEMENTALES DE ASTRONOMÍA DE POSICIÓN SOLAR

La tierra describe movimientos alrededor del sol que sigue una trayectoria en forma elipse, con una excentricidad de un 3%. El otro movimiento que da la tierra alrededor de su eje es llamado movimiento de rotación, el cual se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° de la normal del plano elíptico.

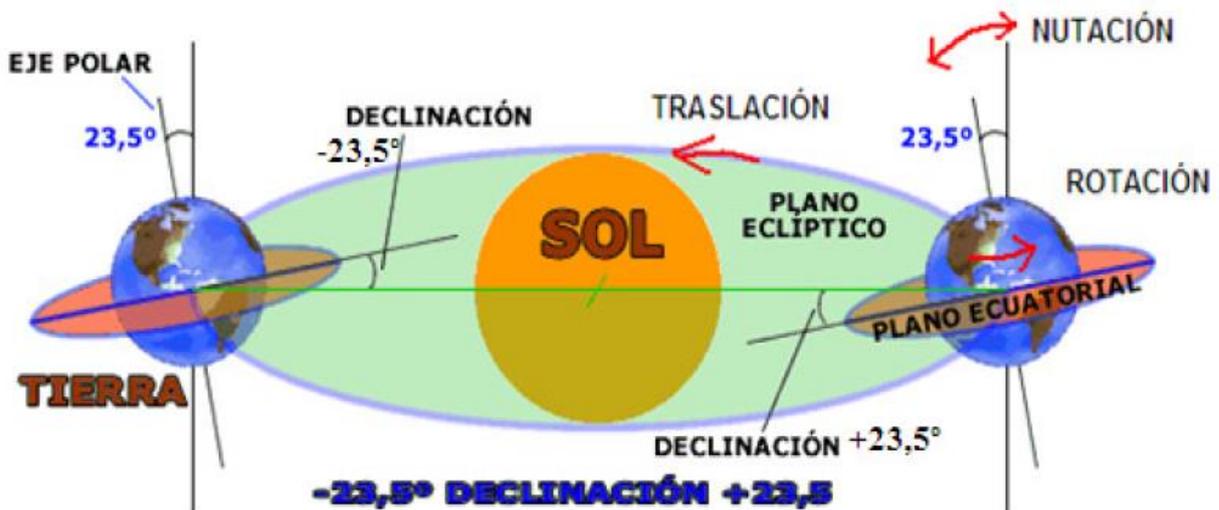


Figura 2-7 Movimiento de la tierra respecto al sol [9]

2.2.1. DECLINACIÓN SOLAR

Debido a la oblicuidad de la elíptica, el ángulo formado por el plano ecuatorial de la tierra con la elíptica, es decir, la recta que une los centros de la tierra y el sol está cambiando permanentemente entre $+23.45^\circ$ y -23.45° . Este ángulo se conoce como declinación solar.

La declinación solar se anula en los equinoccios, en estos días el sol se encuentra en el ecuador y la duración del día es igual a la de la noche en toda la tierra, además las posiciones de salida y de puesta del sol coinciden con Este y Oeste, respectivamente.

En el solsticio de verano la declinación es de $+23.45^\circ$ y el sol se encuentra en el trópico de cáncer lo que en el hemisferio norte se traduce en el día más largo y la noche más corta. En el solsticio de invierno la declinación es de -23.45° y el sol se encuentra en el trópico de capricornio lo que se traduce en el hemisferio norte en el día más corto y la noche más larga del año. En el hemisferio sur ocurriría lo contrario.

Para determinar la declinación solar para un día cualquiera del año puede calcularse mediante la siguiente ecuación (2.2) planteada en [12] presenta la siguiente expresión para calcular δ , en grados sexagesimal.

$$\delta = -23.45^\circ \times \operatorname{sen}\left(\frac{360 \times (n - 81)}{365}\right) \quad (2.2)$$

Donde:

n: es el número del día, con 1 de enero como día 1 y 31 de diciembre el día número 365.

2.2.2. POSICIÓN DEL SOL RESPECTO A UN PUNTO DE LA TIERRA

A la hora de estudiar la inclinación más adecuada con la que se debe orientar los paneles fotovoltaicos, es necesario precisar la posición del sol en cada instante para optimizar su rendimiento. El sistema más apropiado para definir cada uno de estas posiciones es la de coordenadas polares, la posición del sol se define mediante los siguientes parámetros.

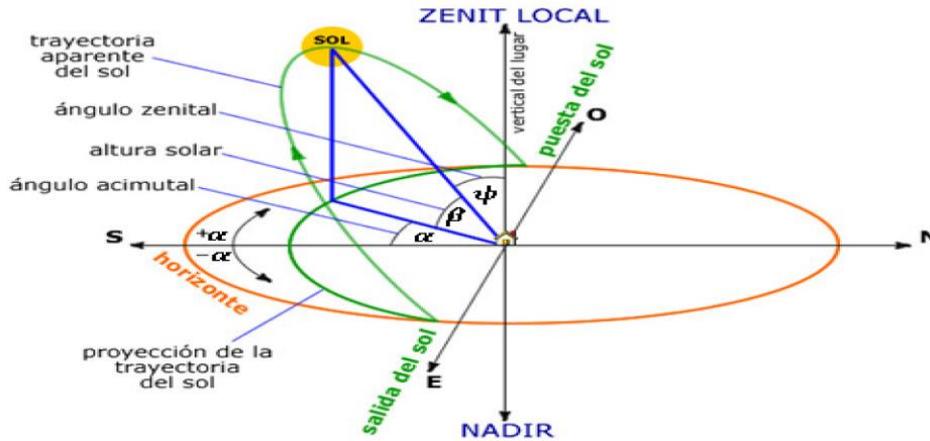


Figura 2-8 Posición del sol. [9]

Latitud del lugar (L): es el ángulo comprendido entre el paralelo del lugar y el ecuador, tomándose como positivo para el hemisferio norte y negativo para el hemisferio sur.

Angulo Zenital (ψ): es el ángulo comprendido entre la posición del sol y la perpendicular al plano horizontal en un punto considerado. Es positivo a partir de zenit.

Altura solar (β): es el ángulo comprendido entre la posición del sol y su proyección sobre el plano horizontal.

Angulo Azimutal (α): ángulo formado por la proyección del sol sobre el plano del horizonte con la dirección sur. Positivo 0° a 180° hacia el oeste y negativo hacia el este 0° a -180° .

Angulo horario (h): el desplazamiento angular del sol de este a oeste del meridiano local debido a la rotación de la tierra (15° por hora), por la mañana negativo y positivo por la tarde.

2.2.3. TRAYECTORIA APARENTE DEL SOL

Se toma como convención que la tierra esta estacionaria, que nosotros somos observadores y estamos en un lugar de la superficie y vemos a la tierra a nuestro alrededor como un plano circular de radio finito limitado por el horizonte.

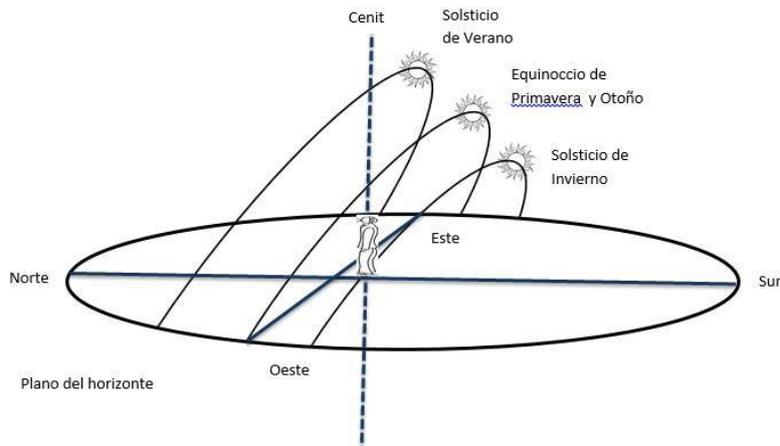


Figura 2-9 Trayectoria del sol. [9]

2.2.4. DETERMINACIÓN DE INCIDENCIA SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE.

La radiación solar incidente sobre una superficie depende del ángulo de incidencia, por lo tanto, es necesario conocer las ecuaciones que permitan calcular el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una superficie cualquiera y situada en un punto cualquiera de la superficie terrestre. La posición del plano inclinado se determina por dos ángulos.

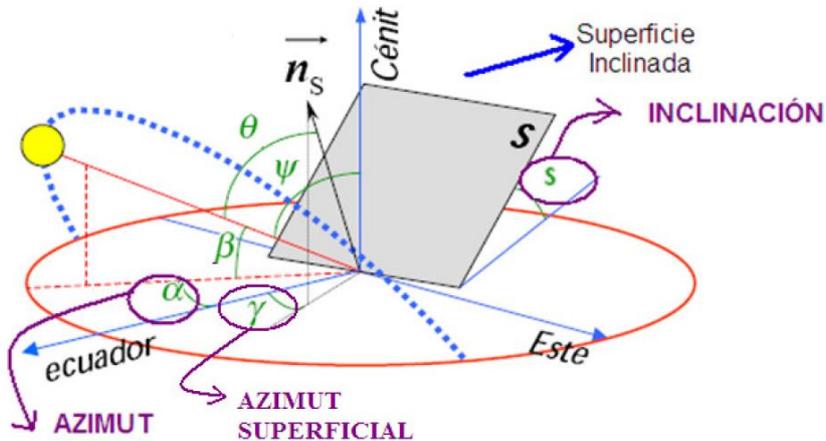


Figura 2-10 Trayectoria aparente del sol e incidencia solar sobre una superficie [9]

Azimutal superficial (γ): define la orientación de la superficie y se define como el ángulo comprendido entre la proyección de la normal sobre el plano horizontal y la dirección norte.

Inclinación (S): es el ángulo formado por la superficie considerada y el plano horizontal.

2.2.5. ÁNGULO DE ALTITUD DEL SOL AL MEDIODÍA SOLAR

Todos sabemos que el sol se levanta en el este y se pone en el oeste y alcanza su punto más alto en la mitad del día. Sabiendo esta información podemos utilizar, por ejemplo, el conocimiento de ángulos solares para ayudar a elegir el mejor ángulo de inclinación de nuestros módulos para exponerlos a la mayor insolación.

En la figura siguiente muestra un colector orientado hacia el norte en la superficie de la tierra se inclina hacia arriba con un ángulo igual a la latitud local “L”. Como se puede ver, con este ángulo de inclinación el colector es paralelo al eje de la tierra, durante el equinoccio en el mediodía solar, cuando el sol está directamente sobre el meridiano local (línea de longitud), los rayos del sol golpearán al colector en el mejor ángulo posible, es decir, los rayos solares son perpendiculares a la cara del colector.

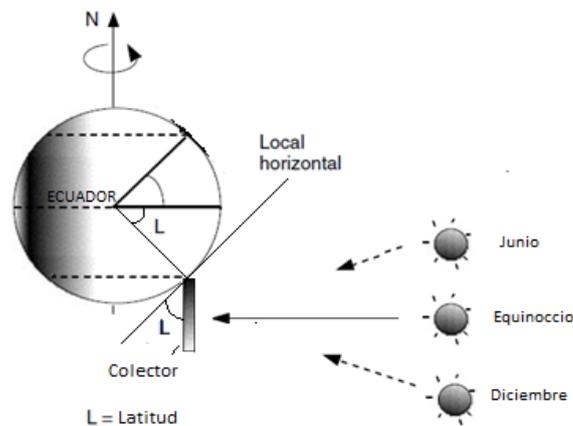


Figura 2-11. Un colector orientado al norte inclinado hasta un ángulo igual a su latitud es perpendicular a los rayos del sol en el mediodía solar durante los equinoccios. [12]

Por supuesto, si desea hacer hincapié en la colección de invierno, es posible que desee un ángulo un poco más alto, y viceversa para una mayor eficiencia en verano.

El ángulo de altitud β_N es el ángulo entre el sol y el horizonte local directamente bajo el sol de la Figura 2-11 podemos anotar la siguiente relación mediante inspección

$$\beta_N = 90^\circ - L + \delta \quad (2.3)$$

Donde L es la latitud del sitio. Observe en la Figura 2-12 el término zenit se refiere a un eje dibujado directamente sobre la cabeza en un sitio (parte encima de uno mismo).

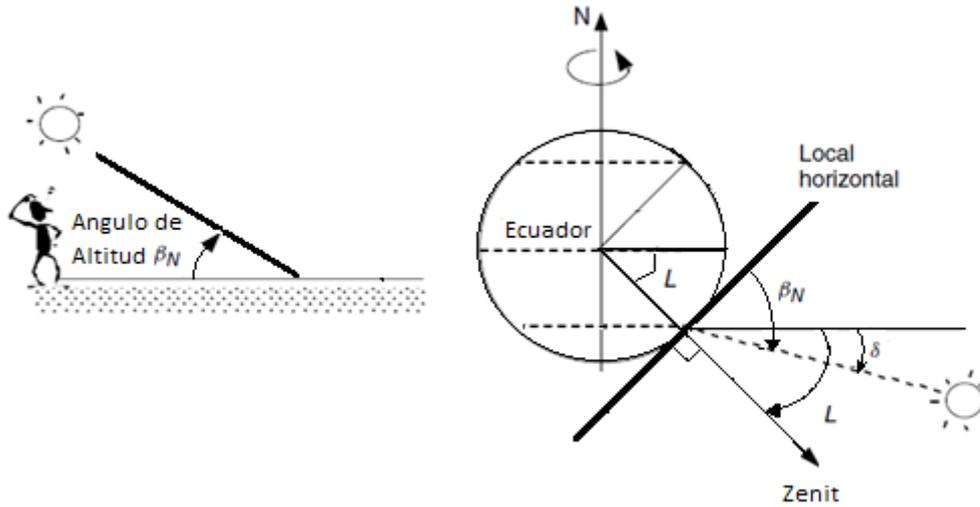


Figura 2-12. El ángulo de altitud del sol en el mediodía solar [12].

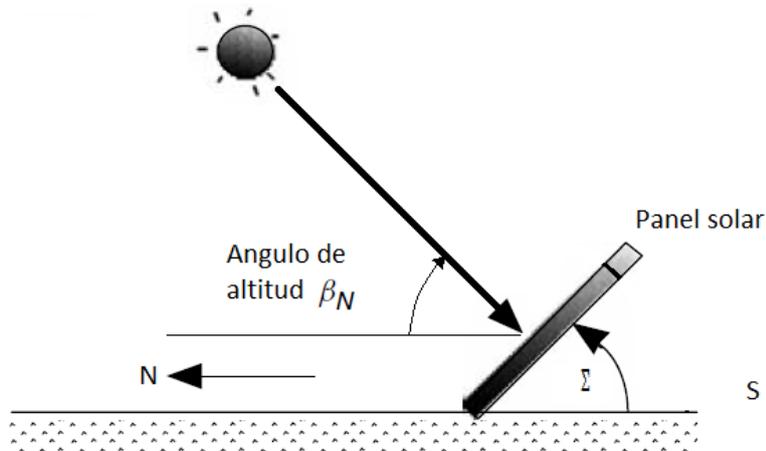


Figura 2-13. Σ Angulo de inclinación del panel solar (llamado también Tilt) [12]

2.3. CELDAS Y MODULOS FOTOVOLTAICOS

2.3.1. FÍSICA BÁSICA DEL SEMICONDUCTOR

La energía fotovoltaica utiliza materiales semiconductores para convertir la luz solar en electricidad. El silicio tiene 14 protones en su núcleo, y por lo tanto tiene 14 electrones en sus orbitas. Como se muestra en la siguiente Figura 2-14, su órbita externa contiene

cuatro electrones de valencia, es decir, es tetravalente. Estos electrones de valencia son los únicos que importan en electrónica y son los que interactúan con otros átomos, por lo que es común dibujar silicio como si tuviera una carga de +4 en su núcleo y cuatro electrones de valencia fuertemente sostenidos

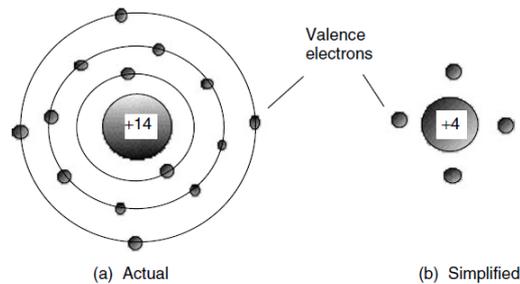


Figura 2-14 (a) Estructura del silicio con sus 14 protones y electrones (b) abreviatura de (a) [12]

En la forma cristalina, cada átomo de silicio está unido covalentemente a cuatro átomos de silicio vecinos, como se ilustra en la siguiente Figura 2-15.

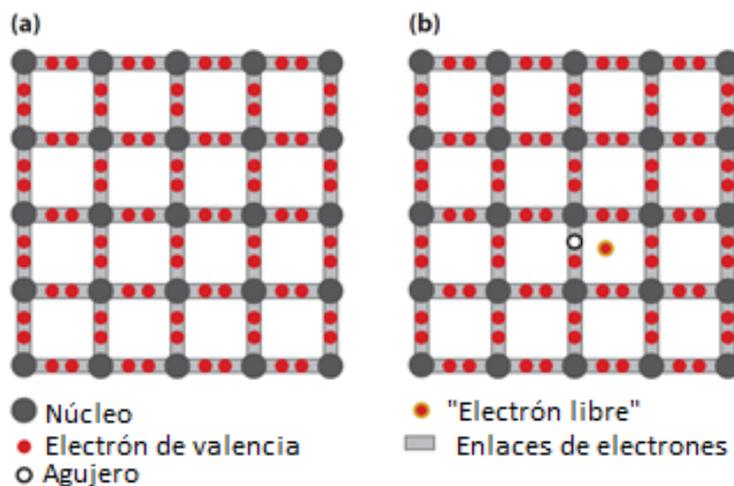


Figura 2-15 (a) No se rompen los enlaces (b) Se rompe un enlace entre dos átomos de silicio resultando en un electrón libre y un agujero. [11]

2.3.2. EL PRINCIPIO DE TRABAJO DE UNA CÉLULA SOLAR

El principio de funcionamiento de las células solares se basa en el efecto fotovoltaico, es decir la generación de una diferencia de potencial en la unión de dos materiales diferentes en respuesta a la radiación electromagnética.

a) EFECTO FOTOELECTRICO

El efecto fotoeléctrico es la propiedad que tienen algunos materiales como es el de la celda solar de absorber fotones de luz y emitir electrones. Esto consiste en que cuando los rayos solares (fotones de luz) inciden sobre la superficie del arreglo fotovoltaico, el cual está compuesto por dos delgadas láminas de silicio u obleas, P y N separadas por un semiconductor, al entrar en contacto con las partículas de luz y la superficie de la capa P se provoca una reacción (liberación de electrones de los átomos de silicio los cuales se encuentran en movimiento y pasan a través del semiconductor hasta la capa N) [12]

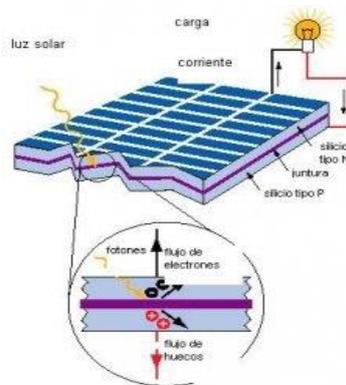


Figura 2-16 efecto fotoeléctrico [3]

El efecto fotoeléctrico se puede dividir en los siguientes procesos básicos:

1. La absorción de un fotón conduce a la generación de un par electrón-agujero.
2. Por lo general, los electrones y agujeros se combinan.
3. Con las membranas semipermeables los electrones y los agujeros se pueden separar.
4. Los electrones separados pueden usarse para conducir un circuito eléctrico.
5. Después de que los electrones pasen por el circuito, se recombinarán con agujeros.

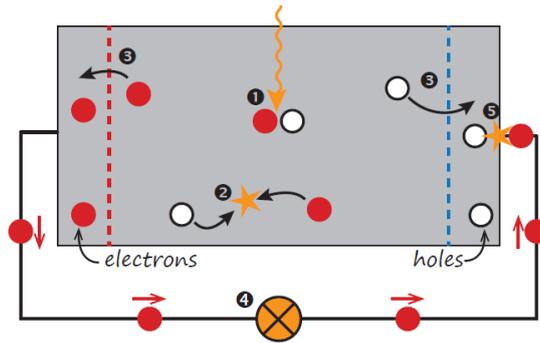


Figura 2-17 Un modelo de células solares y sus procesos básicos [11].

b) DOPAJE

El dopaje de silicio significa que los átomos de otros elementos sustituyen a los átomos de silicio en la red cristalina. La sustitución tiene que ser llevada a cabo por átomos con tres o cinco electrones de valencia, respectivamente. Los elementos más utilizados para dopaje del cristal de silicio son boro (B) y fósforo (P), con números atómicos de 5 y 15, respectivamente. [11].

En el siguiente grafico se ilustra (a) Un átomo de fósforo (P) sustituye un átomo de silicio en el enrejado que da como resultado el átomo P positivamente ionizado y un electrón libre, (b) un átomo de boro (B) sustituye un átomo de silicio que da como resultado el átomo boro ionizado negativamente y un agujero.

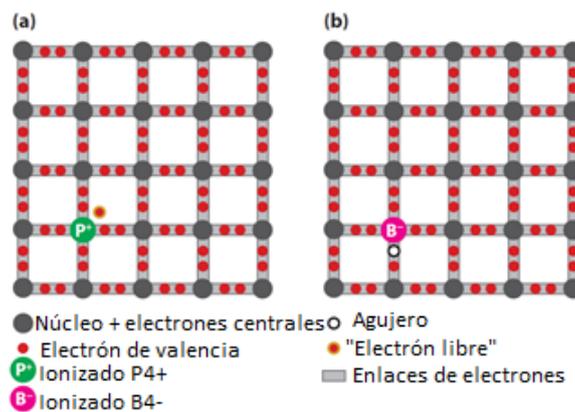


Figura 2-18 El proceso de dopaje [11].

Los átomos donantes se ionizan positivamente y los átomos aceptores se ionizan negativamente.

2.3.3. CÉLULA FOTOVOLTAICA GENÉRICA

Consideremos lo que ocurre en la una unión p-n cuando está expuesta a la luz solar. A medida que los fotones son absorbidos, se pueden formar pares de agujeros-electrones. Si estos portadores de carga móviles llegan a la unión, el campo eléctrico en la región de agotamiento empujará los orificios en el lado p y empujará a los electrones hacia el lado n, como se muestra en la figura siguiente. El lado p acumula agujeros y el lado n acumula electrones, lo que crea un voltaje que se puede utilizar para suministrar corriente a una carga.

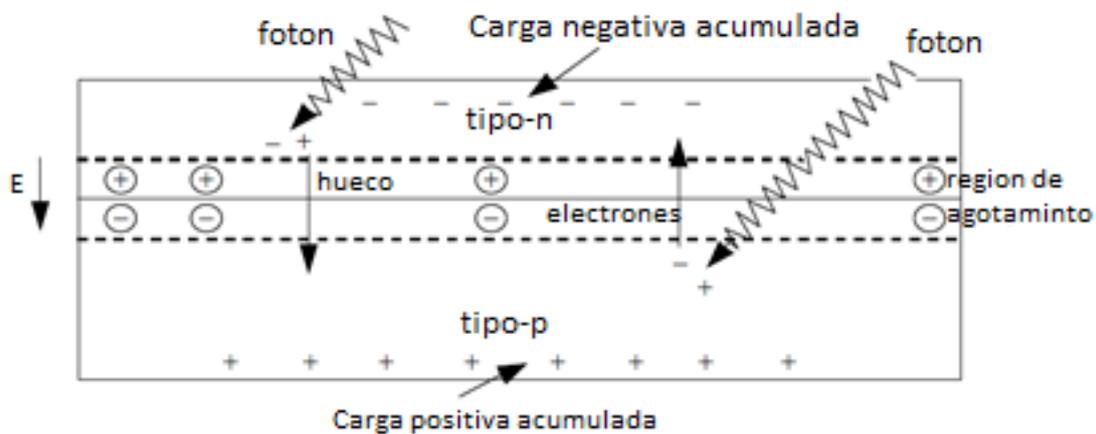


Figura 2-19 Cuando los fotones crean pares de agujeros-electrones cerca de la unión, el campo eléctrico en la región de agotamiento barre los agujeros en el lado p y barre los electrones hacia el lado n de la célula [12].

Si se conectan contactos eléctricos en la parte superior e inferior de la celda, los electrones fluirán desde el lado n hacia el cable de conexión, a través de la carga y de vuelta al lado p como se muestra en la siguiente figura. Los electrones se mueven realmente alrededor del circuito. Cuando alcanzan el lado p, se recombinan con los agujeros que completan el circuito. Por convención, la corriente positiva fluye en la dirección opuesta al flujo de electrones, por tanto la flecha de corriente en la siguiente figura muestra la corriente que va desde el lado p a la carga y de nuevo al lado n.

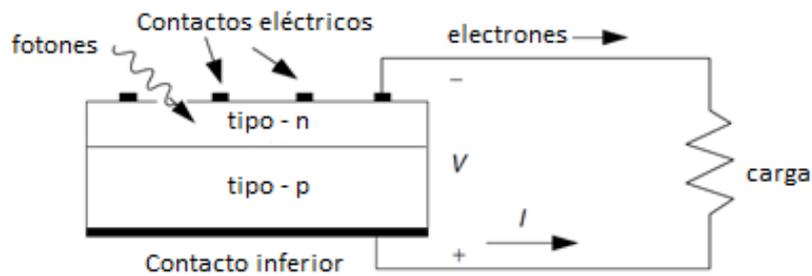


Figura 2-20 Los electrones fluyen desde el contacto n-lateral, a través de la carga, y de vuelta al lado p donde se recombinan con agujeros. La corriente convencional I está en la dirección opuesta [12].

c) DEFINICIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos electrónicos que tienen la función de transformar la luz solar directamente en energía eléctrica.

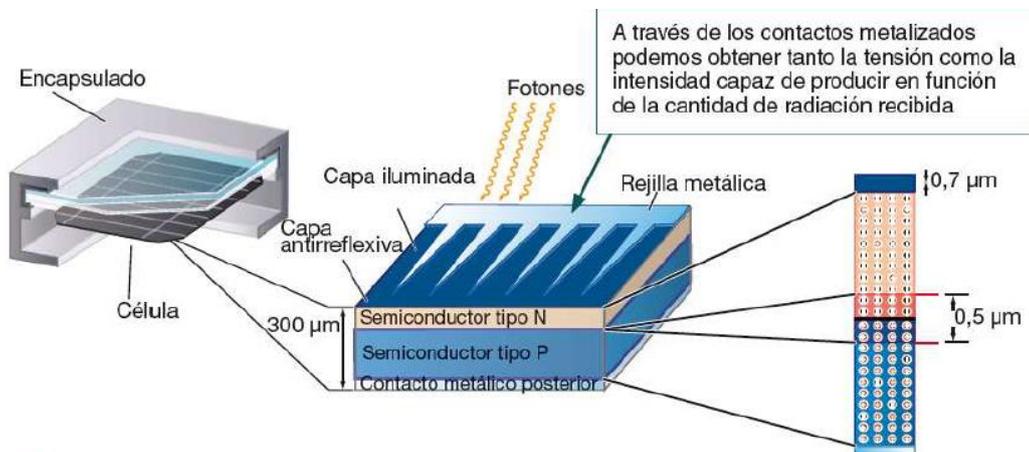


Figura 2-21 Estructura de la celda solar [14]

Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

d) TIPOS DE CÉLDAS O CELULAS FOTOVOLTAICAS

Existen varios tipos de celdas solares, en este trabajo solo estudiaremos los siguientes tipos

➤ CELDAS SOLARES DE TIPO MONOCRISTALINO

Este tipo de celda tiene una estructura cristalina ordenada, con cada átomo idealmente situado en una posición pre-ordenada y muestra un comportamiento predecible y uniforme se compone de secciones de un único cristal de silicio.

Las celdas monocristalinos se fabrican con bloques de silicio, que son de forma cilíndrica. Para optimizar el rendimiento y reducir los costes de cada celda solar monocristalino, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio, y por lo que presentan esa característica física.



Figura 2-22 celdas fotovoltaicas monocristalino [Elaboración propia]

➤ CELDAS SOLARES DE TIPO MULTICRISTALINO O POLICRISTALINO

Estas células se componen de varias partículas cristalizadas de pequeño tamaño, el silicio pasa a través de un menor número de ciclos de filtración intensiva de energía que los procesos de separación de las células monocristalinos y por lo tanto son un material menos costoso para los fabricantes. Estas celdas son fabricadas en una forma cuadrada. Esto es debido a que el líquido fundido en los lingotes (cuadrado) no es para ser extruido

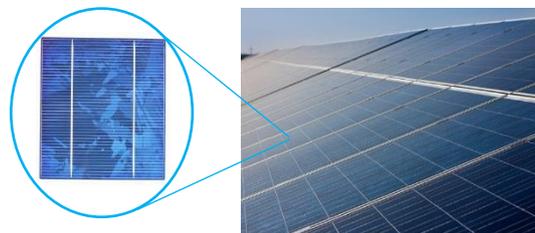


Figura 2-23 celda fotovoltaica policristalino [Elaboración propia]

Una de las formas más sencillas para saber si tenemos delante un panel solar monocristalino o policristalino, es que en el policristalino las celdas son perfectamente rectangulares y no tienen esquinas redondeadas.

e) CONEXIONES EN SERIE Y EN PARALELO DE CELULAS EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Si hacemos un módulo solar podemos conectar las células solares de diferentes maneras: primero, podemos conectarlas en una conexión en serie como se muestra en la siguiente figura (a) una conexión en serie de tres celdas solares (b) conexión en serie de este tipo para celdas con una rejilla metálica frontal. (c) conexión paralela de tres células solares. (d) Curvas I-V de células solares conectadas en serie y en paralelo.

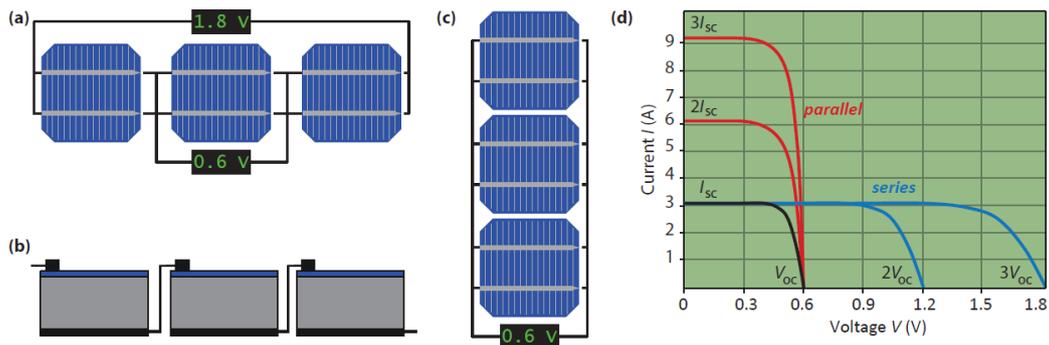


Figura 2-24 Se ilustra las conexiones de las células solares [11].

Si las celdas están conectadas en paralelo, el voltaje es el mismo sobre todas las células solares, mientras que las corrientes de las células solares se suman. Si conectamos tres celdas en paralelo, la corriente se hace tres veces más grande, mientras que el voltaje es el mismo que para una sola celda.

Las células solares suelen estar conectadas en serie con el fin de minimizar las pérdidas resistivas.

2.3.4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS

a) DEFINICION MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos se componen de un conjunto de celdas o células fotovoltaicas hechas con material resistente a las condiciones climáticas extremas: los módulos de SolarWorld, probados y certificados, son resistentes contra las tormentas de arena, fuertes vientos o ambientes salinos.

Las placas fotovoltaicas pueden ser cristalinas o amorfas. Las cristalinas, a su vez, pueden ser monocristalinos (se componen de secciones de un único cristal de silicio) o policristalinos (se componen de varias partículas cristalizadas de pequeño tamaño). En cuanto a las amorfas, son así cuando el silicio no se cristaliza.

Empleando silicio con otros materiales semiconductores, es posible obtener paneles más finos e incluso flexibles.

b) PARÁMETROS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

En el módulo fotovoltaico se puede definir un conjunto de parámetros, similar al de las células solares. Los parámetros más comunes son el voltaje de circuito abierto (V_{oc}), corriente cortocircuito (I_{sc}).

c) LA CURVA I-V BAJO CONDICIONES DE PRUEBA ESTÁNDAR (STC)

Cuando la carga está realmente conectada, una combinación de corriente y voltaje resultará y la energía será entregada. Para calcular la cantidad de potencia, tenemos que considerar la curva característica I -V del módulo, así como la curva característica I -V de la carga.

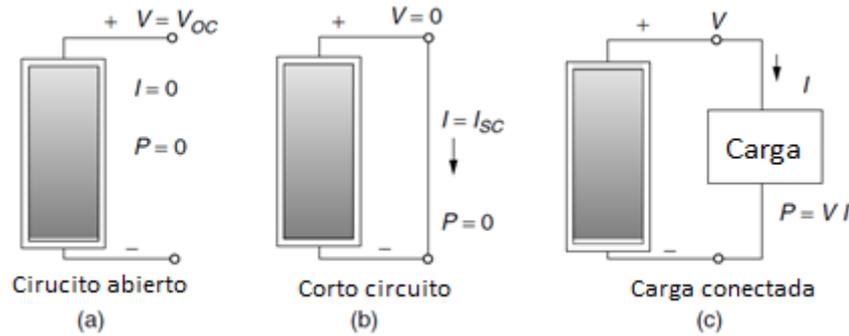


Figura 2-25 (a) No se suministra potencia cuando el circuito está abierto (b) o cuando esta cortocircuitado (c) Cuando la carga está conectada, aparece una potencia [12].

La siguiente figura muestra una curva I-V genérica para un módulo fotovoltaico, que identifica varios parámetros clave incluyendo la tensión en circuito abierto V_{oc} y la corriente de cortocircuito I_{sc} . También se muestra el producto de voltaje y corriente, es decir, potencia suministrada por el módulo. En los dos extremos de la curva I - V, la potencia de salida es cero ya que la corriente o la tensión es cero en esos puntos. El punto de potencia máxima (MPP) es aquel punto cerca de la rodilla de la curva I - V a la que el producto de corriente y voltaje alcanza su máximo valor. La tensión y la corriente en el MPP se designan a veces como V_{mpp} e I_{mpp} para el caso general y designado V_R e I_R (para tensión nominal y corriente nominal).

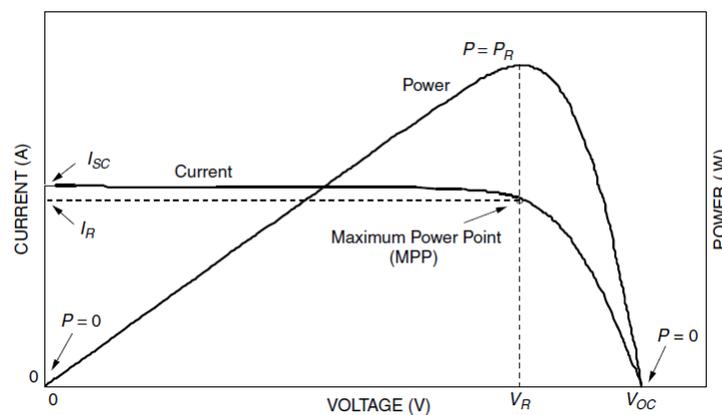


Figura 2-26 Curva I - V y salida de potencia para un módulo fotovoltaico [12].

Otra forma de visualizar la ubicación del máximo punto de potencia es tratando de encontrar el rectángulo más grande posible que se encuentra debajo de la curva I - V. Como se muestra en la Figura 2-27, los lados del rectángulo corresponden a corriente y

voltaje, por lo que su área es potencia. Otra cantidad que se utiliza a menudo para caracterizar el rendimiento del módulo es el factor de relleno (FF). El factor de relleno es la relación de la potencia en el punto de potencia máxima al producto de Voc e Isc, por lo que FF se puede visualizar como la relación de dos áreas rectangulares.

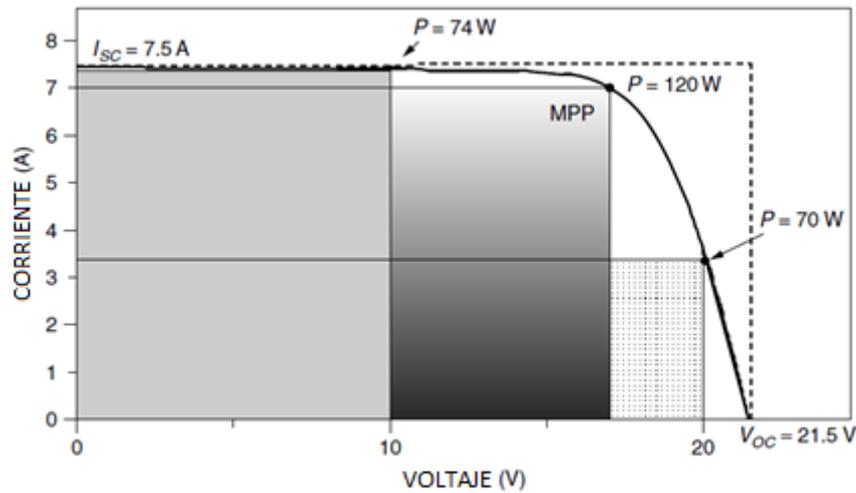


Figura 2-27 El punto máximo de potencia (MPP) corresponde al rectángulo más grande que puede encajar debajo de la curva I-V [12].

$$\text{Factor de Relleno(FF)} = \frac{\text{Potencia al máximo punto de potencia}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_R I_R}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.4)$$

Este es un parámetro clave para evaluar el rendimiento de las células solares comerciales. Cuanto mayor sea el factor de relleno, más es la energía solar que se generará. En otras palabras mientras mayor sea este factor mejor es la calidad de las células (las células solares de calidad típicas tienen un factor de relleno > 0,70).

Según los paneles utilizados en este estudio tiene un factor de potencia de: **0.767** para el panel monocristalino y **0.763** para el panel policristalino.

2.3.5. LOS TIPOS DE MODULOS FOTOVOLTAICOS QUE ESTUVIERON EN ESTUDIO

Los módulos en estudio, son fabricados en alemania y son de la marca solard world estos módulos fotovoltaicos son distribuidos a diferentes países del mundo, entre ellos se encuentra Perú.

a) MÓDULO DE SILICIO MONOCRISTALINO

Modulo de silicio monocristalino oscuro uniforme.



Figura 2-28 Modulo monocristalino [fuente hoja de datos del módulo Monocristalino].

b) MÓDULO DE SILICIO POLICRISTALINO

Modulo con células azules, formadas por varios cristales con un mejor rendimiento.

Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado



Figura 2-29 Modulo Policristalino [fuente hoja de datos del módulo Policristalino]

La medida más interesante es la eficiencia del panel, o qué porcentaje de energía de la luz que incide en el panel se convierte en electricidad. La eficiencia del panel es generalmente inferior a la eficiencia de las celdas solares debido a la reflexión de vidrio, marco de sombra, las temperaturas más altas, etc. Los paneles solares soportan el calor, el frío, lluvia y granizo durante muchos años. Los módulos fotovoltaicos de silicio cristalino

garantizan una producción eléctrica durante 10 años en el 90% de la producción de potencia nominal y 25 años en un 80% esto según sus productores.

Tabla 2.2 Características físicas de los módulos [Obtenida de su hoja de datos de los módulos]

Tecnología	Tipo de célula	Dimensiones de la célula (mm)	Número de células	Longitud panel (mm)	Anchura panel (mm)
Monocrystalino 80 w	Monocrystalino	78 x 156	36	806	680
Policristalino 150 w	Policristalino	156 x 156	36	1508	680

Las características eléctricas teóricas principales de dichos paneles se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Características eléctricas de los módulos [Obtenida de su hoja de datos de los módulos]

Tecnología	Isc (A)	Impp (A)	Voc (V)	Vmpp (V)	Pmax (W)
Monocrystalino 80 w	4.66	4.35	22.5	18.5	80
Policristalino 150 w	8.81	8.27	22.5	18.3	150

Los datos técnicos se obtuvieron de las hojas proporcionadas por los fabricantes de cada panel, dichos datos han sido obtenidos bajo unas condiciones de irradiancia de 1000 W/m² y temperatura 25°C (se pueden observar dichos datos en el Anexo 3 de las hojas características de cada módulo)

Donde el subíndice “mpp” significa punto de máxima potencia (en inglés “maximum power point), el subíndice “Voc” significa voltaje de circuito abierto (en inglés “Open circuit voltaje”), el subíndice “Isc” significa corriente circuito cerrado (en inglés “Short circuit current”).

2.3.6. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

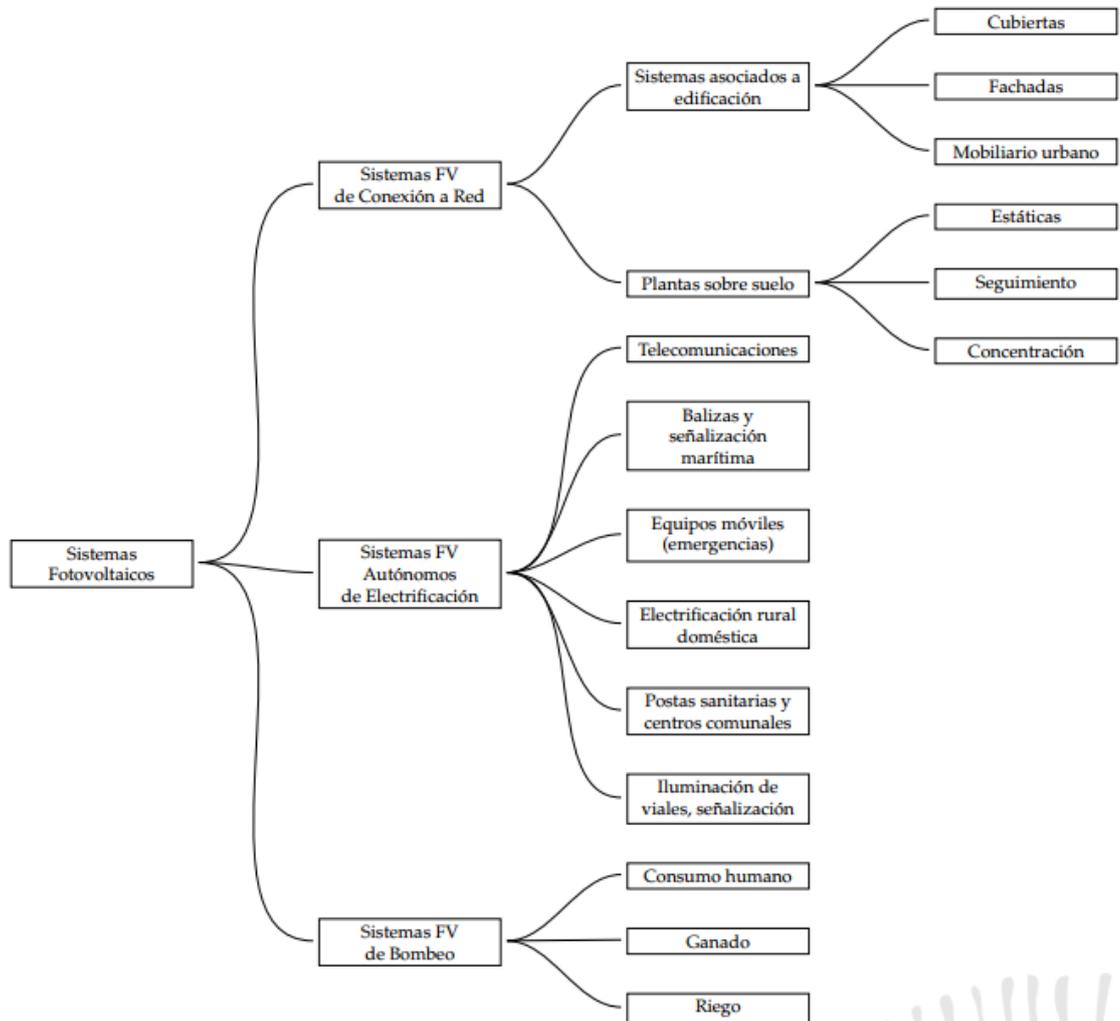


Figura 2-30 Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos [2]

2.4. FUNDAMENTO TEORICO DE UNA ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)

Según la definición de R. Pallas, “Se denomina sistema de adquisición de datos al sistema cuya función es coleccionar información, documentar y/o analizar un fenómeno físico” [15]. Dicho sistema involucra etapas para la **conversión de variables físicas analógicas continuas en variables digitales** (es decir, la amplitud solamente toma un número finito de valores dentro de un rango especificado) en tiempo discreto (es decir, la amplitud es medida en un número finito de instantes de tiempo dentro de un rango especificado) que pueden ser manipuladas a través de una computadora mediante un software de aplicación.

CAPITULO 3

**REQUERIMIENTO TECNICO Y
DISEÑO DEL SISTEMA DE
ADQUISICION DE DATOS**

3.1. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN ÓPTIMA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

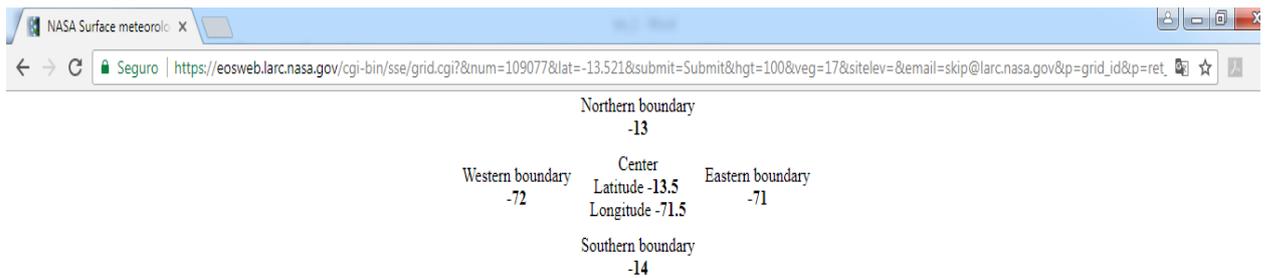
3.1.1. UBICACIÓN DE LOS PANELES SOLARES

Los paneles fotovoltaicos se encuentran ubicadas en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la UNSAAC con una latitud $13^{\circ}31'16.07''\text{S}$ y longitud $71^{\circ}57'24.53''\text{O}$ (convertidos a decimal la latitud 13.521131° y longitud 71.956814°) a una altitud de 3353 m.s.n.m.



Figura 3-1. Ubicación de los paneles en Cusco – Perú [Mapa de Google Earth].

Según la NASA para latitud 13.521131° y longitud 71.956814° , la inclinación (tilt) para los paneles debe ser 13° para mayor captación de radiación durante el día en Cusco, en que se puede ver insolación que está entre los 5.11 a 5.94 KWh/m²/día de en el panel fotovoltaico.



Parameters for Tilted Solar Panels:

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m²/day)

Lat -13.521 Lon -71.957	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	5.24	5.33	5.18	5.08	5.13	4.95	5.08	5.29	5.46	5.68	6.03	5.63	5.33
K	0.46	0.48	0.50	0.54	0.62	0.64	0.64	0.60	0.55	0.53	0.54	0.50	0.55
Diffuse	2.47	2.44	2.20	1.81	1.34	1.15	1.21	1.53	1.95	2.26	2.33	2.41	1.92
Direct	3.97	4.10	4.29	4.99	6.29	6.62	6.60	5.92	5.14	4.86	5.29	4.65	5.23
Tilt 0	5.13	5.24	5.11	5.03	5.09	4.91	5.04	5.24	5.39	5.59	5.91	5.50	5.26
Tilt 13	5.17	5.11	5.14	5.29	5.65	5.62	5.69	5.65	5.52	5.50	5.94	5.58	5.49
Tilt 28	4.99	4.74	4.95	5.34	6.02	6.14	6.16	5.84	5.42	5.15	5.72	5.42	5.49
Tilt 90	2.28	1.73	2.13	2.98	4.14	4.64	4.47	3.56	2.53	1.80	2.36	2.50	2.93
OPT	5.17	5.24	5.15	5.36	6.08	6.32	6.28	5.85	5.53	5.59	5.96	5.58	5.68
OPT ANG	9.00	0.00	9.00	24.0	37.0	43.0	41.0	30.0	15.0	1.00	9.00	12.0	19.2

NOTE: Diffuse radiation, direct normal radiation and tilted surface radiation are not calculated when the clearness index (K) is below 0.3 or above 0.8.

Figura 3-2 Radiación incidente para un módulo fotovoltaico con inclinación de 13° [16].

3.1.2. HERRAMIENTAS PARA LA UBICACIÓN DEL SOL

El conocimiento de la posición del sol a lo largo del día es de suma importancia para todas las aplicaciones que aprovechan la energía solar. Por otra parte, si no se dispone de valores medidos de irradiación solar es necesario contar con métodos analíticos que permitan estimarla. El programa GEOSOL V.2.0 para Windows permite, a través de sus cálculos, ver la representación de la trayectoria del sol en 2D (carta solar) y 3D, posibilitando comparar las diferencias entre invierno y verano y entre distintos lugares del planeta.

Podemos ver el desarrollo de diagramas hechos por computadora, para ver la altitud y azimut solar. En la figura se simula para el día 21 de marzo con n = 80 con: Latitud: -13°31'16.07", longitud: -71°57'24.53", huso horario:-5, altitud: 3353 m.s.n.m.

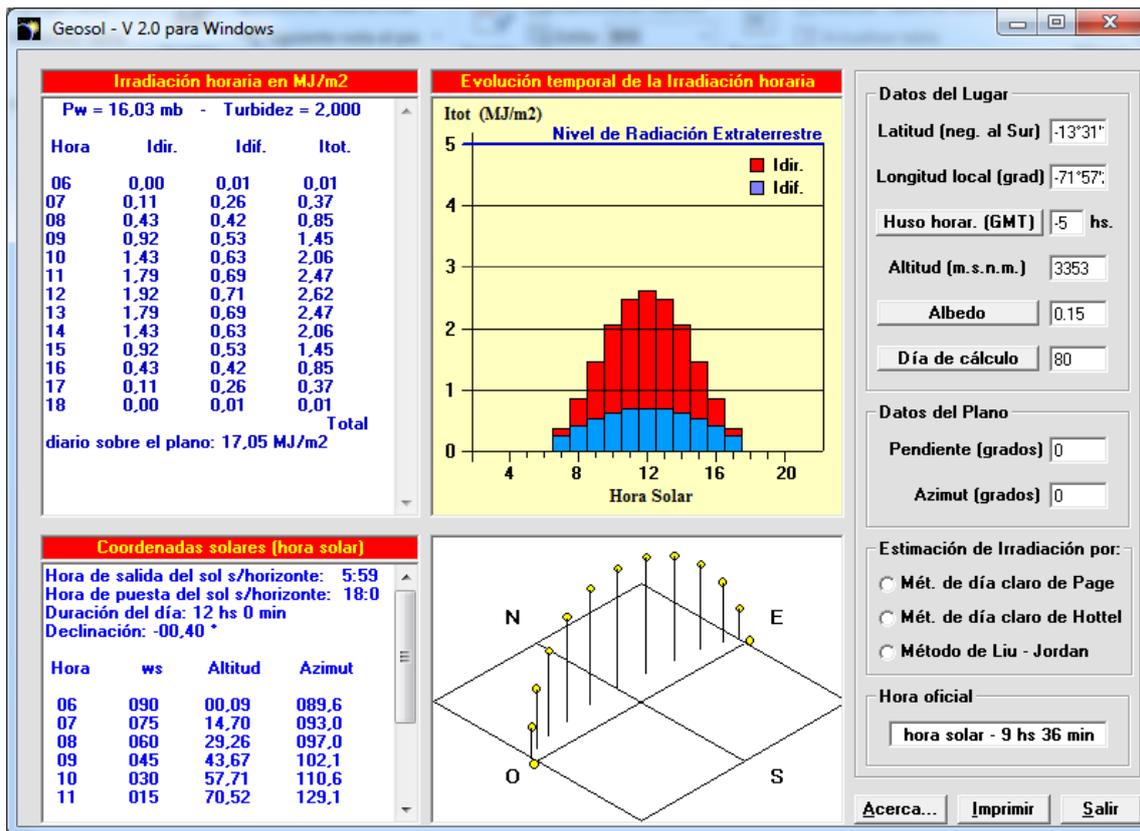


Figura 3-3. Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria [software Geosol]

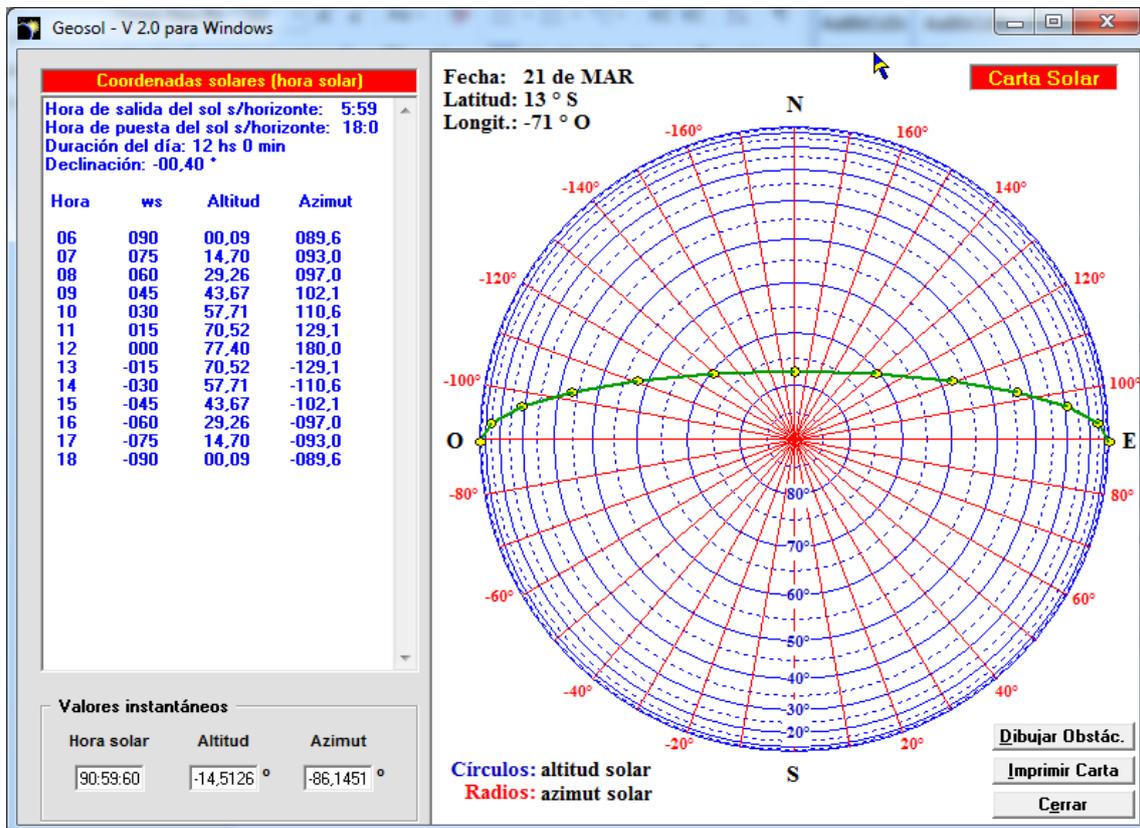


Figura 3-4. Carta solar (ubicación del sol con respecto de la superficie terrestre) [Software Geosol]

ECOTECT ANALYSIS.- Este programa fue desarrollado originariamente por Autodesk que contiene a Weather Tool software que hace posible el diagrama solar. Esta herramienta ayuda a ubicar al sol en cualquier hora, día, mes del año

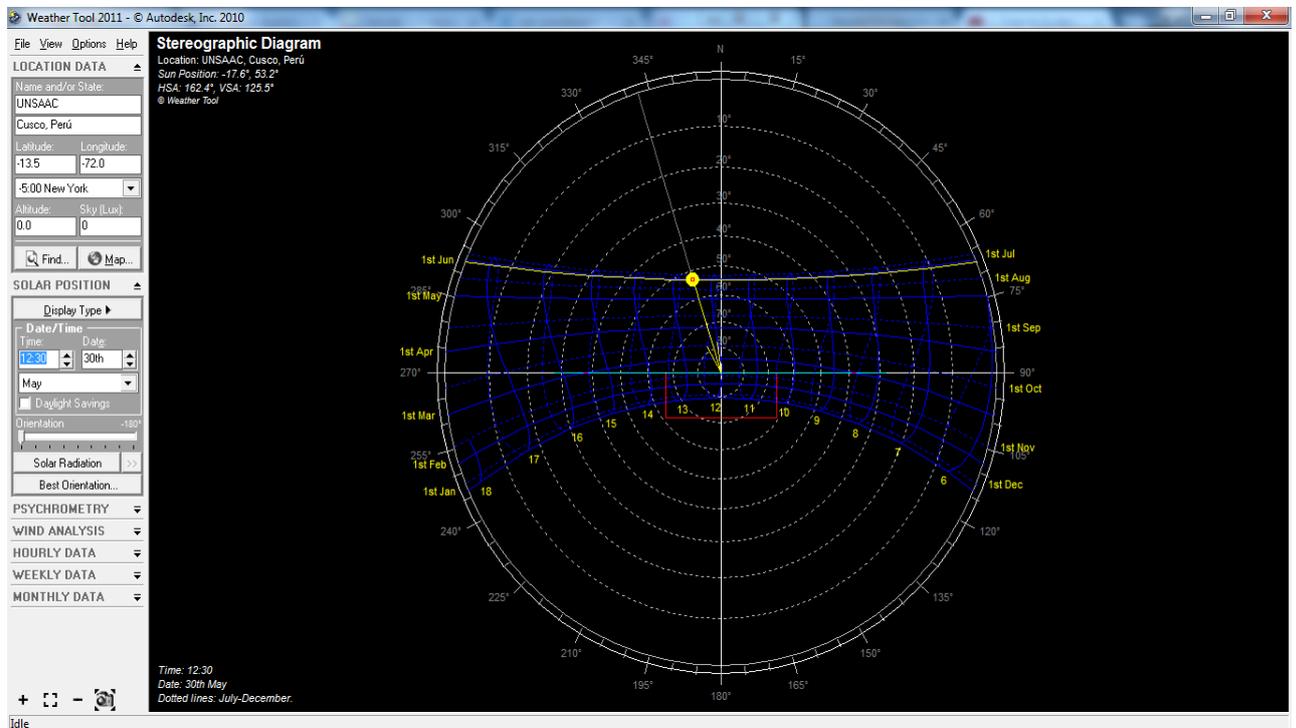


Figura 3-5. Trayectorias del sol: Cusco 13.521131 latitud sur y 71.956814 longitud oeste [Weather Tool]

Lo primero que se hizo para realizar el trabajo es obtener el ángulo de inclinación de los paneles en nuestro medio, para tener un mejor aprovechamiento de la energía del sol por

Tabla 3.1. Inclinación de los paneles en cada estación del año (Elaboración propia)

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Día	21 de Marzo	21 de Junio	21 de Septiembre	21 de diciembre
N	80	172	265	355
δ	0.4°	-23.4°	0.2°	23.4°
L	13.5°	13.5°	13.5°	13.5°
β_N	76.9°	53.1°	76.7°	99.9°
Σ	13.1°	36.9°	13.3°	-9.9°

lo que se consideró las ecuaciones antes mencionadas (2.2) y (2.3) que fueron desarrollados por [12].que ayudan a determinar el ángulos de inclinación de los paneles. Se observa en la Tabla 3.1 que el ángulo de inclinación de los paneles varía de acuerdo a la estación de año. Sacando el promedio de la inclinación de las estaciones se tiene una inclinación de $\Sigma = 13.35^\circ$ para paneles estáticos se tomaría como inclinación durante todo el año con dirección al norte pero también los fabricantes de los paneles (Solar Word) detallan que para latitud de 13° recomiendan una inclinación de 13° el cual para este estudio se utilizó este último.

La determinación de la inclinación óptima de los paneles solares es fundamental en los sistemas solares. Los cálculos nos permiten afirmar que en nuestra zona se obtuvo para las estaciones de otoño, invierno, primavera y verano con sus respectivas inclinaciones de 13.1° , 36.9° , 13.3° y -9.9° para obtener la captación máxima anual en una localidad determinada es conveniente situar los paneles con una inclinación adecuada.

3.2. INSTALACION DE LA ESTACIÓN METEOROLOGICA

Para determinar las variables climatológicas se hizo uso de la estación meteorológica (Vantage Pro 2) que se instaló en el mismo lugar donde se encuentran los paneles fotovoltaicos, esta estación permite la medición de radiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad de viento y acumulación pluvial, presión barométrica.



Figura 3-6 Estación meteorológica Vantage pro 2 instalada [Fotografía tomada en la UNSAAC]

Para la determinación de las variables que afectan en la generación de potencia eléctrica por los paneles fotovoltaicos, se procedió a la utilización de datos de la Estación Meteorológica de la Escuela Profesional e Ingeniería Electrónica, la cual registra irradiancia, temperatura, humedad relativa, siendo de interés estas tres primeras variables atmosféricas.

Descripción de las variables y unidades:

- Fecha: esta expresada en AAAA-MM-DD que indica el año, mes y día
- Hora: se expresa de la siguiente manera HH:MM:SS que indica la hora, minuto y segundo
- Irradiancia: radiación solar que se mide en W/m^2 .
- Temperatura: se mide en grados Celsius $^{\circ}C$.
- Humedad: se mide en porcentaje %.

En la Figura 3-7 se muestra el sensor que mide la irradiancia, ósea el valor instantáneo de la energía solar que alcanza la superficie terrestre.



Figura 3-7 Pirómetro [Fuente hoja de datos del Vantage pro 2].

Cabe indicar que los sensores de temperatura y humedad se encuentran en el interior de equipo y los datos se adquieren en tiempo real.

Tabla 3.2 Especificaciones - entrada de sensores de la estación meteorológica [Elaboración propia].

FUNCIÓN	SENSOR	RESOLUCIÓN	RANGO	EXACTITUD NORMAL (+/-)
Radiación solar	PIRANOMETRO	1 W/m ²	0 a 1800 W/m ²	5% en plena escala
Temperatura	Sensor de temperatura	1°C	-40°C a +65°C	0.5°C
Humedad	Sensor de humedad	1%	0 to 100%	3% RH; 4% sobre el 90%

Los datos técnicos se obtuvieron de las hojas proporcionadas por los fabricantes.

La radiación solar o irradiancia que recibe la superficie del panel en un instante dado, es el parámetro climatológico principal en el estudio de los paneles fotovoltaicos, lo ideal sería medir la irradiancia total, es decir las componente directa, difusa y albedo pero como el sensor de radiación solar realiza la mediciones de forma horizontal la cual es la suma de la directa más la difusa que viene a ser la radiación global.

Para realizar el procesamiento, almacenamiento y poder mostrarlos en la base de datos, se realizó una base de datos en PhpMyAdmin desarrollada en la Raspberry pi más adelante se explica con mayor detalle.



Figura 3-8 Panorama de la Instalación paneles y la estación meteorológica [Fotografía tomada en la escuela profesional de Ingeniería Electrónica UNSAAC]

3.3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR 16F877A Y MODULO RASPBERRY PI.

Para desarrollar el sistema de adquisición de datos se tomó en cuenta el sistema de adquisición que se muestra en Figura 3-9 El cuál es el siguiente esquema

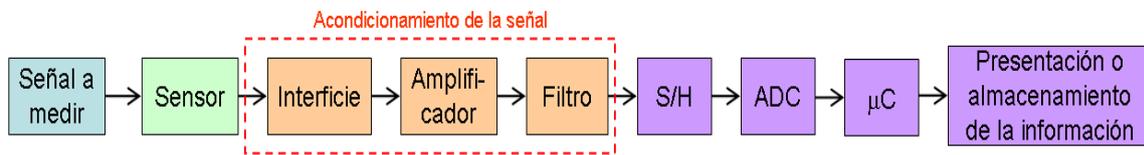


Figura 3-9 Estructura de un DAS de un único canal [17].

Se tomó como modelo la estructura de [17], el cual se consideró que:

La señal a medir: son los paneles que son dispositivos que proporcionan las magnitudes físicas a medir en este caso son las señales de voltaje y corriente.

El sensor: viene hacer el dispositivo que detecta la señal a medir y lo transforma en señal eléctrica y en este caso son los sensores de corriente (módulo ACS712).

El acondicionamiento de la señal es una etapa que adecúa la señal de acuerdo a lo que se desea adquirir en este caso un divisor de voltaje para medir los voltajes de los paneles.

El S/H mantiene a la salida el valor tomado en la entrada en un momento específico, controlado por un reloj proveniente de la lógica de control en este caso realizado por el microcontrolador.

El ADC (Conversor Analógico Digital) es el proceso para obtener la señal digital en este caso realizada por el microcontrolador.

El μ C permite tratar la señal obtenida para nuestros fines deseados en este caso es el microcontrolador 16F877A.

Por último el almacenamiento de información que se desarrolló en el módulo Raspberry pi 3 que se utilizó como un servidor web.

El sistema de adquisición de datos basado en el uso del microcontrolador 16F877A se consideró el uso de 4 canales de entradas analógicas los cuales el primer y el segundo canal están dedicados para medir voltajes de los dos paneles, el tercero y el cuarto canal están dedicados para la medición de corriente, una vez adquirido estos parámetros de dichos canales son procesados por el microcontrolador y luego son enviados al módulo Raspberry pi 3 por medio del puerto serial RS232.

3.3.1. SENSORES

Para determinar los voltajes de los paneles fotovoltaicos se realizó un divisor de voltaje para poder enviarlos a un microcontrolador ya que esta trabaja con voltajes menores o igual 5V. Para determinar la corriente de los paneles fotovoltaicos se utilizó sensores de corriente (ACS712) que utiliza el principio de efecto Hall.

3.3.2. MICROCONTROLADOR (PIC)

Los microcontroladores son pequeños dispositivos que realizan varias tareas y funciones con diferentes instrucciones que son almacenados dentro de ellos mismos.

3.3.3. ELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Para la elección del microcontrolador se toma las siguientes características descritas en la siguiente tabla.

Tabla 3.3 Datos básicos de los microcontroladores para la elección del mismo

MICROCONTROLADOR	16F628A	16F648A	16F88A	16F877A	18F2550
Operación de frecuencia (Max)	20 MHz	20Mhz	Oscilador interno 8Mhz	20Mhz	20Mhz
Memoria de programa Flash	2048 (Palabras de 8 bits)	4096 (Palabras de 8 bits)	4K (Palabras de 14 bits)	8K Palabras de 14 bits)	32K (Palabras de 8 bits)
RAM Memoria de datos (bytes)	224	256	368	368	2048
Puertos de I/O	Puertos A, B	Puertos A, B	Puertos A, B	Puerto A, B, C, D, E	Puerto A, B, C
comunicación serial	USART RB2/TX y RB1/RX	USART RB2/TX y RB1/RX	USART RB5/TX y RB2/RX	USART RC6/TX y RC7/RX	USART RC6/TX y RC7/RX
Modulo conversor A/D(10 bit)	No	No	7 canales de entrada	8 canales de entrada	13 canales de entrada
Conjunto de instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones	75 instrucciones
Paquetes	18-pines	18-pines	18-pines	40-pines	28-pines
Precio (Soles)	10	15	15	18	29

Las necesidades básicas que se requiere son: 4 entradas de conversión analógica digital, se requiere salidas digitales para el LCD (visualiza, calibra los voltajes y corrientes de los módulos fotovoltaicos), además se requiere el puerto de comunicación para la transmisión de datos, tomando en cuenta estas características se eligió el PIC 16f877A

por cumplir con las necesidades que se requieren y ser un dispositivo económica frente a otros.

3.3.4. MODULO RASPBERRY PI.

Raspberry pi es un computador de placa reducida (tamaño de una tarjeta de crédito), computador de placa única o computador de placa simple (SBC Single Board Computer) de bajo costo.

La ventaja de esta microcomputadora es que su procesador requiere un bajo consumo de energía (voltaje de 5V y como mínimo de 750mA), y cuando se conectan los periféricos de una computadora como el mouse, teclado y pantalla la energía que necesita esta microcomputadora es de 5 voltios y 2 amperios de corriente.

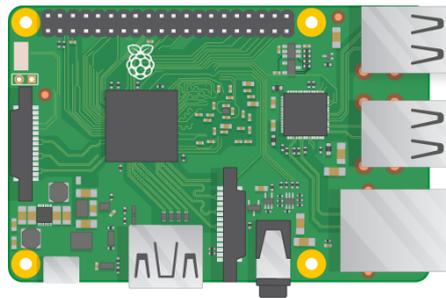


Figura 3-10 Raspberry pi 3. [18]

Sus características principales son:

- Posee entradas USB que generalmente son utilizadas para conectar mouse y teclado.
- Posee una salida de video HDMI.
- Entre sus partes físicas principales están: Procesador Broadcom BCM2387.
- 1 puerto Ethernet
- 40 pines GPIO.

Los pines GPIO son Entrada/Salida de Propósito General, estos pines le permiten a la Raspberry pi comunicarse con otros componentes y circuitos electrónicos

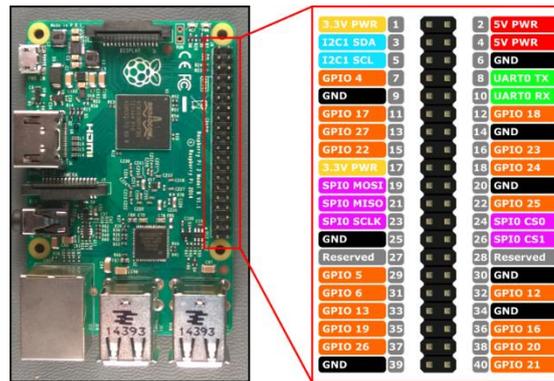


Figura 3-11 Pines GPIO del Raspberry pi [19]

3.4. COMPONENTES QUE INTERGRAN EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DATOS

A continuación se detalla los componentes de los sistemas de adquisición de datos utilizados en este trabajo.

- a) Sensores de voltaje y corriente
- b) Microcontrolador 16F877A
- c) Comunicación serial rs232
- d) Microcomputadora Raspberry pi

Las características más importantes de estos componentes se describen a continuación.

a) SENSORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE

Para el sensar el voltaje se hizo un divisor de voltaje con un potenciómetro y para sensar la corriente se utilizó el sensor ACS712 de 20 amperios que es un sensor de efecto hall, con las siguientes características

- Voltaje de operación de suministro único de 5V
- Sensibilidad de salida 100mV / A
- Tensión de salida proporcional a corrientes AC o DC

b) MICROCONTROLADOR 16F877A

Este es el encargado de digitalizar los datos y enviarlos al Raspberry pi 3 utilizando el puerto serial. La programación se desarrolló en lenguaje C, utilizando un programa de computación llamado PIC C COMPILER, este programa permite generar líneas de código que se pueden simular en varios modelos de microcontroladores virtuales para su comprobación. Además, posibilita el uso de varios periféricos como el puerto serial, pantalla de cristal líquido y varios puertos de entrada y salida.

Sus principales características son:

- Tiene de 35 instrucciones con 14 bits de longitud.
- Frecuencia de 20 MHz.
- Hasta 8K palabras de 14 bits para la memoria de código, tipo flash.
- Hasta 368 bytes de memoria de datos RAM.
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM.
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- Hasta 3 timers.
- Puertos de entrada/salida A, B, C, D, E.
- Perro guardián (WDT).
- Comunicaciones serie como el USART.
- Código de protección programable.
- Voltaje de alimentación entre 2 y 5.5 voltios.

c) COMUNICACIÓN SERIAL RS232

Para realizar la comunicación se utilizo el circuito integrado MAX232. Este circuito integrado es muy popular debido a que sólo necesita de cuatro capacitores electrolíticos y una fuente de alimentación de 5 voltios para un funcionamiento adecuado, ya que genera, internamente, algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232. El

circuito integrado MAX232 soluciona la conexión necesaria para lograr comunicación entre el puerto serie del módulo Raspberry pi 3 y el microcontrolador, haciendo cambio de niveles TTL a los del estándar RS232 cuando se hace una transmisión y cambia los niveles RS232 a TTL cuando se tiene una recepción.

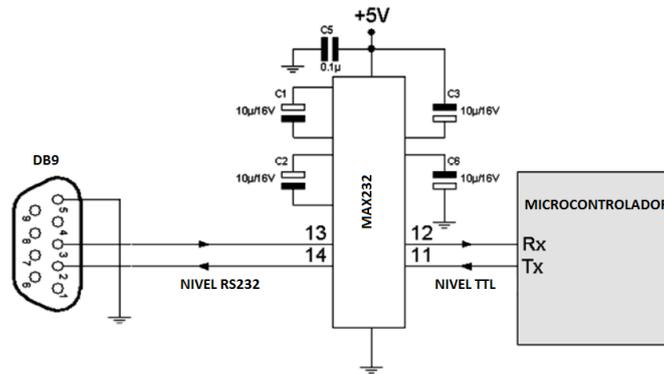


Figura 3-12 Circuito básico del circuito MAX232 [5]

d) MICROCOMPUTADORA RASPBERRY PI 3

La Raspberry pi 3 modelo B, que posee similares características de una computadora existente y en este caso está encargada del almacenamiento de la información, la Raspberry pi 3 trabaja con un sistema operativo propio en ella (Raspbian Jessie que tiene un peso de 4136 MB) que se instala a través el programa Win32DiskImager en la tarjeta microSD de 32GB de capacidad.

3.5. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE COMUNICACION DEL SAD

El software de comunicación para el sistema de adquisición de datos se ha dividido en 2 programas, la programación del microcontrolador y la programación del Raspberry pi 3.

3.5.1. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

La programación como se mencionó anteriormente se desarrolló en el lenguaje C.

A continuación se describe la utilización de los puertos del microcontrolador 16F877A:

El puerto A se utilizó para las entradas analógicas (RA0=voltaje panel monocristalino, RA1=voltaje panel policristalino, RA2=corriente del panel monocristalino y RA3=corriente del panel policristalino).

El puerto C se utilizó para la comunicación serial RS232 (RC6=serial TX, RC7=serial RX).

Puerto D se utilizó para montar cristal LCD para visualizar los datos y poder calibrar.

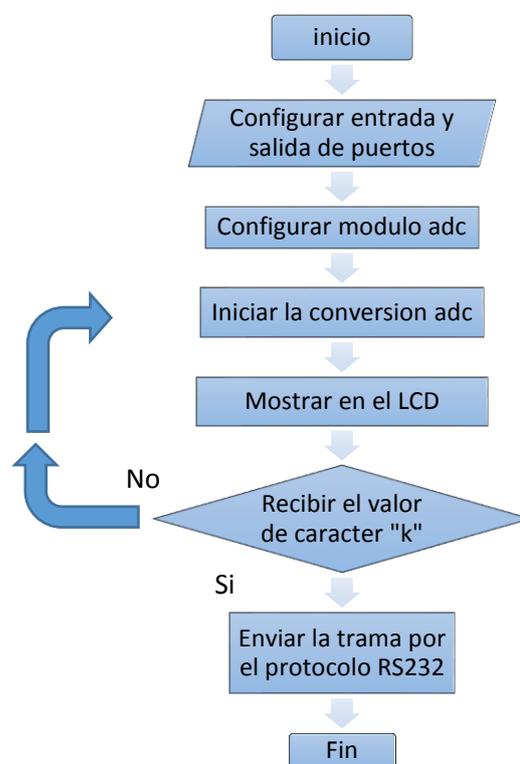


Figura 3-13 Diagrama de flujo del programa del microcontrolador [Elaboración propia]

Los datos sensados por el microcontrolador son enviados al Raspberry pi 3 una vez que el PIC recibe el carácter “k” en el pin RX (pin de recepción), estos datos sensados (voltajes y corrientes de los módulos monocristalino y policristalinos), son enviados carácter a carácter siendo 25 caracteres más la coma y punto y coma, con el fin de carro, siguiente línea, (cadena: ", %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f;" + /n/r). Los datos son

transportados como bytes utilizando una comunicación serial asíncrona (9600 baudios, sin paridad). A continuación se muestra el programa cargado en el microcontrolador.

```

56 while(TRUE) {
57     vMono1=8.00*conversion(0); // voltaje a 40 voltios
58     vPoly1=8.00*conversion(1);
59
60     cMono1=(conversion(4)-2.488)/0.1; // sensibilidad calibrada=v2-v1/I1-I2
61     cPoly1=(conversion(5)-2.488)/0.1;
62
63     vMono2=8.00*conversion(2); // voltaje a 40 voltios
64     vPoly2=8.00*conversion(3);
65
66     cMono2=(conversion(6)-2.488)/0.1; // sensibilidad calibrada=v2-v1/I1-I2
67     cPoly2=(conversion(7)-2.488)/0.1;
68     //Muestra por el LCD los valores digital y analógico de la lectura AD
69     printf(lcd_putc, "\r");
70     lcd_gotoxy(1,1);
71     printf(lcd_putc, "vM1=%2.2f cM1=%2.2f", vMono1, cMono1);
72     lcd_gotoxy(1,2);
73     printf(lcd_putc, "vP1=%2.2f cP1=%2.2f", vPoly1, cPoly1);
74     lcd_gotoxy(21,1);
75     printf(lcd_putc, "vM2=%2.2f cM2=%2.2f", vMono2, cMono2);
76     lcd_gotoxy(21,2);
77     printf(lcd_putc, "vP2=%2.2f cP2=%2.2f", vPoly2, cPoly2);
78
79
80
81     if(x=='p'){
82         sprintf(cadena, "%2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f", vMono1, vPoly1, vMono2, vPoly2, cMono1, cPoly1, cMono2, cPoly2); //Paso a string e
83         // printf("%d", sizeof(cadena));
84         //Envío por RS232 del valor float como string
85         for (x=0;x<49;x++){
86             puts(cadena[x]);

```

Figura 3-14 Código de programación en c del microcontrolador 16F877A del PIC C Compiler [Elaboración-propia]

A continuación se visualiza la simulación del esquema de la estructura del sistema adquisición de datos en la Figura 3-15.

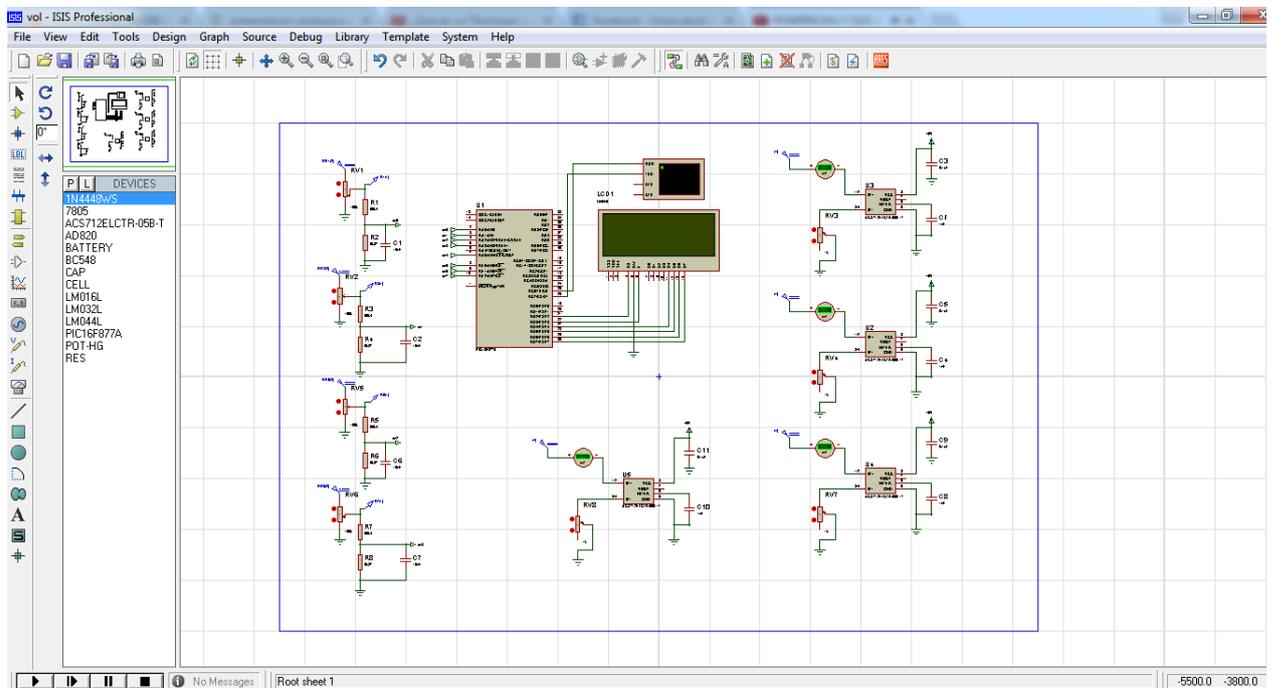


Figura 3-15 Simulación de los sensores de voltaje y corriente en Proteus ISIS 7 [Elaboración-propia].

La simulación se desarrolló con el programa ISIS Proteus, utilizando el virtual terminal del programa como se muestra a continuación.

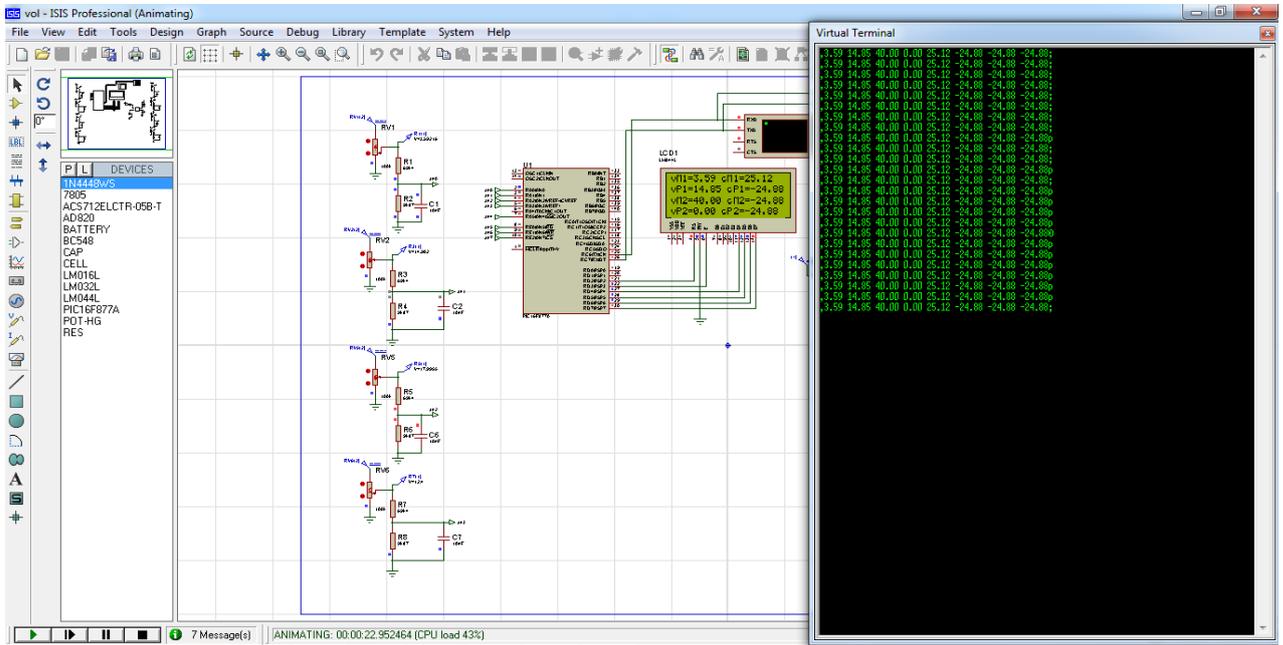


Figura 3-16 Simulación de la comunicación serial RS232 del PIC a la computadora [Elaboración-propia]

Cabe indicar que una vez desarrollado el hardware se hizo prueba con la herramienta Serial Port Monitor del programa PIC C COMPILER para poder visualizar la trama que envía al PIC 16F877A al Raspberry pi 3.

3.5.2. PROGRAMACIÓN DEL RASPBERRY PI

La programación de la Raspberry pi se desarrolló el lenguaje Python en la versión 2.7 de Linux, se desarrolló la programación en dos Raspberry pi, uno para los parámetros de radiación, temperatura y humedad del entorno rural y otro para los parámetros de voltaje y corriente de los paneles fotovoltaicos.

La programación para los parámetros de radiación temperatura y humedad se desarrolló en Python como se indicó anteriormente.

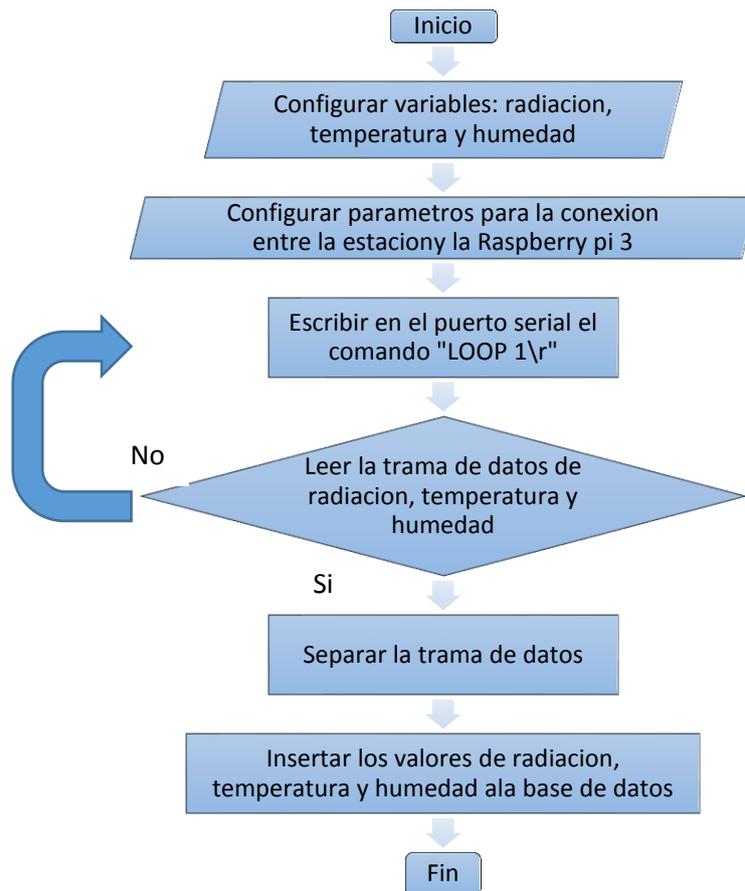


Figura 3-17 Diagrama de flujo de la programación del microcomputador para los paramentos de radiación, temperatura y humedad [Elaboración propia].

La lectura de datos de los sensores (radiación solar, temperatura y humedad), se realiza gracias a la consola que presenta Vantage pro 2 quien recibe el comando (LOOP 1\r), para luego enviar la trama de datos (contenido del paquete LOOP), estos datos son enviados de forma serial a la Raspberry pi 3 mediante el puerto USB ('/dev/ttyUSB0'). La trama envía al Raspberry pi 3 son de 99 caracteres donde contiene varios parámetros meteorológicos pero las variables de interés son: radiación solar temperatura y humedad. La información de radiación dentro de la trama se encuentra en la posición [44] y [45]. La información de temperatura dentro de la trama se encuentra en la posición [12] y [13]. La información de humedad dentro de la trama se encuentra en la posición [33]. Luego de realizar la separación de cada dato de la trama, se hace la conexión a la base de datos y finalmente se inserta cada valor en la base de datos de la Raspberry pi 3.

Los parámetros de comunicación serie son: 8 bits de datos, 1 bit de inicio, 1 bit de parada y sin paridad. La velocidad de transmisión predeterminada es 19200.

```

13
14 import serial
15 import MySQLdb
16 from time import sleep, strftime, localtime, time
17
18 #####
19 idStation = 1
20 #####
21 #sleep(30)
22
23 # DB Configuration parameters
24 DBhost = "cediter.com"
25 DBpass = "some_pass"
26 DBuser = "phpmyadmin"
27 DBport = "3306"
28 DBdb = "sisestacion"
29
30 DBOutTemp = "temperatura"
31 DBOutHumidity = "humedad"
32 DBRain = "lluvia"
33 DBSolarRad = "radiacion"
34 DBUV = "ultravioleta"
35 DBWind = "viento"
36 DBPressure = "presion"
37
38
39 stport = "/dev/ttyUSB0"
40 stbaud = 19200
41 sttimeout = 1.0
42
43 stcommand = "LOOP 1\r"
44 #stcommand = "TEST\r"
45
46 #DataIndex According to Davis Protocol
47

```

Figura 3-18 Código de programación en Python para la estación meteorológica [Elaboración propia]

De igual manera se realizó la programación para los parámetros de voltaje y corriente de los paneles fotovoltaicos.

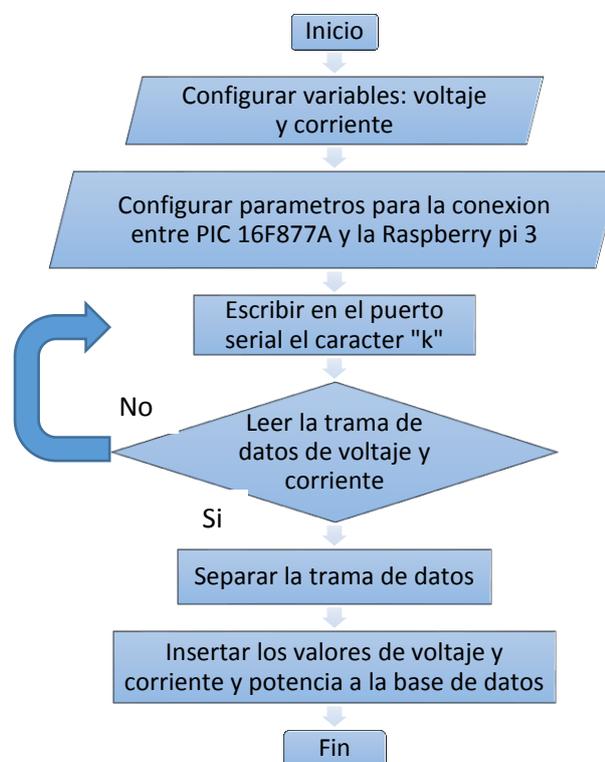


Figura 3-19 Diagrama de flujo de la programación de la Raspberry pi 3 para los parámetros de voltaje y corriente [Elaboración propia].

La lectura de la trama de datos (voltajes y corrientes), se realiza mediante el puerto USB ('/dev/ttyUSB0') de la Raspberry pi 3.

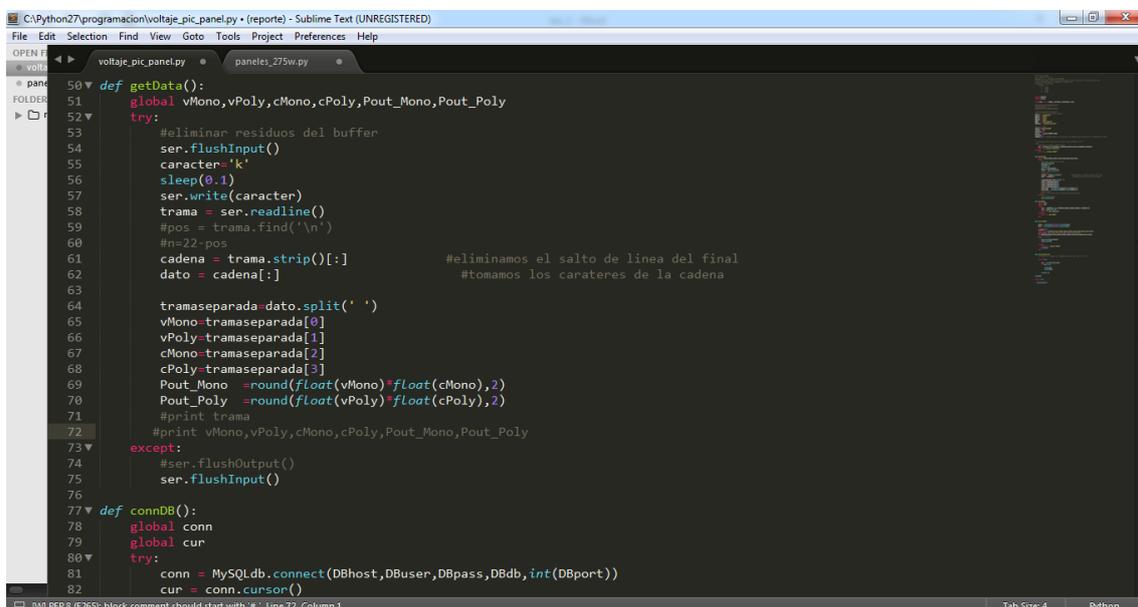
El dato del voltaje monocristalino dentro de la trama se encuentra en la posición [0].

El dato del voltaje policristalino dentro de la trama se encuentra en la posición [1].

El dato de la corriente monocristalino dentro de la trama se encuentra en la posición [2].

El dato de la corriente policristalino dentro de la trama se encuentra en la posición [3].

Luego de realizar la separación de cada dato de la trama, se hace la conexión a la base de datos y finalmente se inserta cada dato en la base de datos de la Raspberry pi 3.



```
50 def getData():
51     global vMono,vPoly,cMono,cPoly,Pout_Mono,Pout_Poly
52     try:
53         #eliminar residuos del buffer
54         ser.flushInput()
55         caracter='k'
56         sleep(0.1)
57         ser.write(caracter)
58         trama = ser.readline()
59         #pos = trama.find('\n')
60         #n=22-pos
61         cadena = trama.strip()[:] #eliminamos el salto de linea del final
62         dato = cadena[:] #tomamos los caracteres de la cadena
63
64         tramaseparada=dato.split(' ')
65         vMono=tramaseparada[0]
66         vPoly=tramaseparada[1]
67         cMono=tramaseparada[2]
68         cPoly=tramaseparada[3]
69         Pout_Mono =round(float(vMono)*float(cMono),2)
70         Pout_Poly =round(float(vPoly)*float(cPoly),2)
71         #print trama
72         #print vMono,vPoly,cMono,cPoly,Pout_Mono,Pout_Poly
73     except:
74         #ser.flushOutput()
75         ser.flushInput()
76
77 def connDB():
78     global conn
79     global cur
80     try:
81         conn = MySQLdb.connect(DBhost,DBuser,DBpass,int(DBport))
82         cur = conn.cursor()
```

Figura 3-20 Código de programación en Python para los parámetros de los paneles fotovoltaicos [Elaboración propia]

3.6. DESARROLLO DEL SERVIDOR WEB

Un servidor web es una computadora que guarda y transmite datos vía red. La información que almacenan es en forma de página Web y en lenguaje HTML que visualizará un cliente web mediante un navegador.

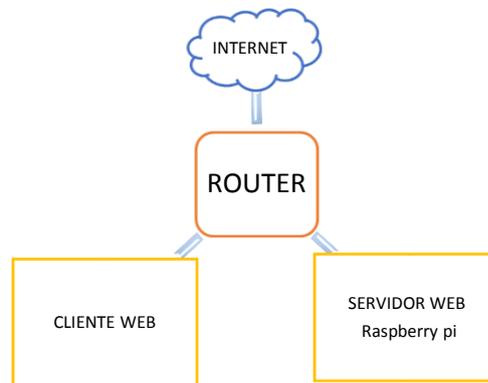


Figura 3-21 Diagrama de bloques para el sistema de comunicación con el servidor web [Elaboración propia]

3.6.1. RASPBERRY PI COMO SERVIDOR WEB

Un servidor web es una computadora que guarda y transmite datos vía red. La información que almacenan es en forma de página Web. Un servidor Web implementa el protocolo HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto) para transmitir datos tales como hipertexto, páginas web o páginas HTML. Cuando un cliente (navegador Web) accede a un servidor Web, envía una petición HTTP que recibe el servidor Web. Luego este envía la información a través de protocolo HTTP al cliente en formato HTML.

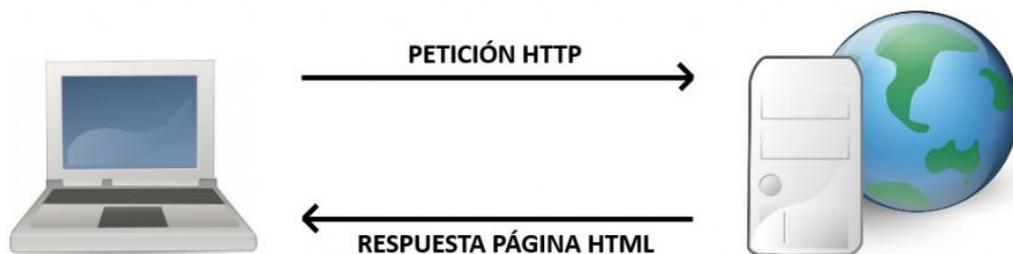


Figura 3-22 Envío y Recepción de una petición a un servidor web

INSTALAR LAMP

LAMP (Linux Apache MySQL PHP) son un conjunto de componentes que debemos instalar en la Raspberry pi 3 para poder crear un servidor Web.

- Apache: Servidor Web HTTP fuente abierta.
- MySQL: Base de datos Fuente abierta.
- PHP: Lenguaje de programación que forma parte del servidor web para crear webs dinámicas.
- PhpMyAdmin: Sirve para administrar la base de datos a través de interfaz web.

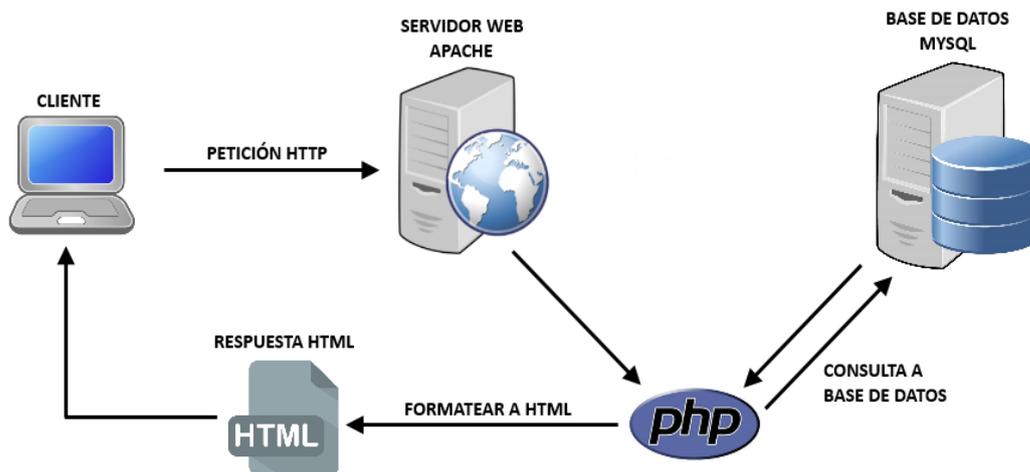


Figura 3-23 Procedimiento de una solicitud a un servidor Web a través del lenguaje PHP:

Los comandos descritos a continuación se obtuvieron de [[http://diymakers.es/raspberry-pi-como-servidor-web/.](http://diymakers.es/raspberry-pi-como-servidor-web/)]

Antes de empezar con la instalación del servidor, se recomienda actualizar la Raspberry pi 3:

```
sudo apt-get update //actualizar paquetes
```

```
sudo apt-get upgrade //instalación de actualizaciones
```

INSTALAR APACHE

Es el servidor HTTP más usado fundamental en el desarrollo de la World Wide Web. Para instalar el servidor web Apache, primero tendremos que crear un grupo de usuarios para el servidor:

```
Sudo groupadd www-data
```

```
Sudo usermod -a -G www-data www-data
```

Instalamos el Apache:

```
Sudo apt-get install apache2
```

Una vez finalizado, vemos que se ha creado un directorio en /var/www donde se ubicaran los archivos HTML y PHP del servidor. Por defecto, hay un archivo llamado index.php. Si ponemos en un navegador la dirección IP de la Raspberry pi 3(en el tutorial Raspberry pi 3: Guía inicial se explica cómo establecer una IP fija) veremos una página con la frase It works!. Esto quiere decir que el servidor se ha instalado correctamente. Ahora podemos probar de crear un archivo html:

```
sudo nano /var/www/prueba.html
```

I escribimos el siguiente código:

```
<html>  
<head>  
<title>BASEDATOS</title>  
</head>  
<body>  
<h1> BASEDATOS </h1>  
<p>Prueba de archivo HTML</p>  
</body>
```

`</html>`

Para guardar pulsamos CTRL+X, luego S e INTRO. Ahora en el navegador ponemos la dirección IP de la Raspberry pi 3 más el nombre del archivo html para ver nuestra web:

`http://192.168.1.100/prueba.html` (poner la dirección IP)

Instalar PHP

El lenguaje de programación PHP sirve para poder crear webs dinámicas. Procedemos a instalar el lenguaje PHP en la Raspberry pi 3:

```
sudo apt-get install php5-mysql
```

Después instalaremos sus paquetes:

```
Sudo apt-get install libapache2-mod-php5 libapache2-mod-perl2 php5 php5-cli php5-  
common php5-curl php5-dev php5-gd php5-imagick php5-ldap php5-mhash php5-mysql  
php5-odbc
```

Para comprobar que se haya instalado correctamente, creamos un archivo php en el servidor:

```
sudo nano /var/www/pruebaphp.php
```

Le escribimos el siguiente código php:

```
<?php  
Echo "Hello World";  
?>
```

Para guardar pulsamos CTRL+X, luego S e INTRO. Ponemos en el navegador web lo siguiente:

`http://192.168.1.134/pruebaphp.php` (poner vuestra dirección IP)

A continuación tiene que salir el texto “Hello World” en una página web.

INSTALAR MYSQL

MySQL es una base de datos fuente abierta que sirve para almacenar datos. Para su instalación escribimos lo siguiente:

```
sudo apt-get install mysql-server mysql-client php5-mysql
```

```
sudo apt-get install mysql-client mysql-server
```

Nos pedirá que pongamos una contraseña que nosotros queramos. Al terminar la instalación, debemos iniciar el MySQL:

```
Sudo service mysql start
```

Para comprobar si se ha instalado correctamente, tenemos que escribir el siguiente comando poniendo la contraseña que hemos establecido antes en la instalación de MySQL después de la letra p:

```
mysql -u root -p //luego poner la contraseña
```

Si aparece el comando mysql> quiere decir que funciona correctamente. Para salir pulsamos CTRL+C.

Instalar PhpMyAdmin

PhpMyAdmin es un software basado en PHP que sirve para administrar la base de datos MySQL a través de interfaz web. Para su instalación escribimos el siguiente comando:

```
sudo apt-get install apache2 php5 libapache2-mod-php5
```

```
sudo apt-get install phpmyadmin
```

Nos preguntará que servidor web hemos instalado. Seleccionamos Apache con la tecla Espacio y pulsamos enter. Después preguntará si queremos configurar la base de datos,

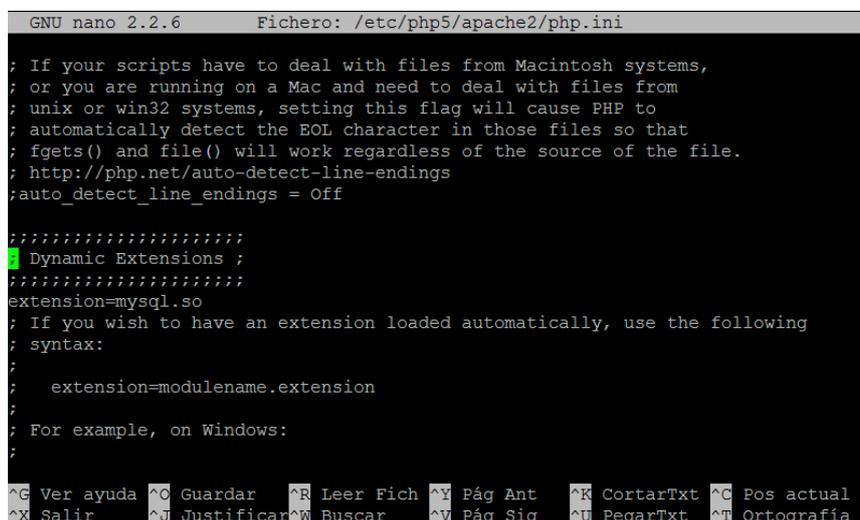
decimos que Sí. Luego tendremos que poner la contraseña que establecimos previamente en el MySQL y finalmente nos pedirá que pongamos una nueva contraseña para PhpMyAdmin.

Al finalizar la instalación, tenemos que modificar el siguiente archivo:

```
Sudo nano /etc/php5/apache2/php.ini
```

Tenemos que escribir el siguiente comando en una nueva línea en cualquier sitio, aunque si queremos tener el archivo ordenado lo pondremos en la sección “Dynamic Extensions”:

```
Extension=mysql.so
```



```
GNU nano 2.2.6 Fichero: /etc/php5/apache2/php.ini
; If your scripts have to deal with files from Macintosh systems,
; or you are running on a Mac and need to deal with files from
; unix or win32 systems, setting this flag will cause PHP to
; automatically detect the EOL character in those files so that
; fgets() and file() will work regardless of the source of the file.
; http://php.net/auto-detect-line-endings
;auto_detect_line_endings = Off

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
; Dynamic Extensions ;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
extension=mysql.so
; If you wish to have an extension loaded automatically, use the following
; syntax:
;
; extension=modulename.extension
;
; For example, on Windows:
;
^G Ver ayuda ^C Guardar ^R Leer Fich ^Y Pág Ant ^K CortarTxt ^C Pos actual
^X Salir ^J Justificar ^W Buscar ^V Pág Sig ^U PegarTxt ^T Ortografía
```

Figura 3-24 Fichero *etc/php5/apache2/php.ini* en el Raspberry pi 3 [Elaboración propia].

Para guardar pulsamos CTRL+X, luego S e INTRO. Esta modificación sirve para si usamos la base de datos MySQLi (distinta a MySQL).

Después, como hemos modificado un archivo tendremos que reiniciar la Raspberry pi 3:

```
sudo reboot
```

Tras reiniciar, tenemos que ejecutar dos comandos más:

```
sudo nano /etc/apache2/apache2.conf
```

agregar al final

Include /etc/phpmyadmin/apache.conf

sudo /etc/init.d/apache2 restart

Finalmente, vamos al navegador y ponemos:

Hostname -I //par ver la ip de la raspberry pi 3

http://192.168.1.100/phpmyadmin/ (poner vuestra dirección IP)

Nos saldrá una interfaz como esta donde usuario es root y la contraseña la que hemos asignado en la instalación:



Figura 3-25 Base de datos en Phpmyadmin [Elaboración propia].

3.6.2. DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS PARA PARAMETROS ELECTRICOS.

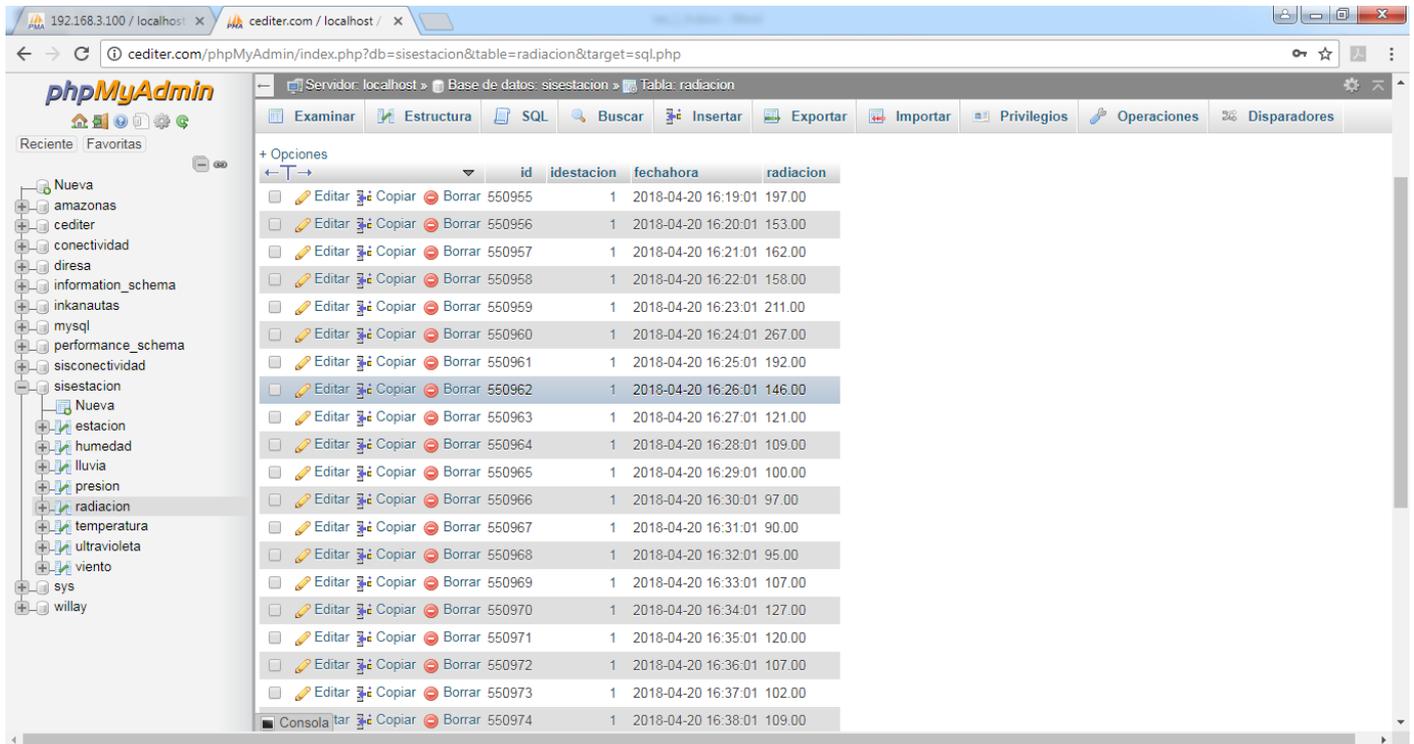
A continuación se muestra la base de datos los parámetros de voltajes, corrientes y potencias de ambos paneles fotovoltaicos.

id	fecha	hora	vMonoi	vPolyi	vMonoh	vPolyh	cMonoi	cPolyi	cMonoh	cPolyh	pMonoi	pPolyi	pMonoh	pPolyh	temperatura	humedad_rtv
1	2017-08-03	14:50:31	20.64	20.19	20.67	19.95	1.61	1.58	1.61	1.69	33.23	31.9	33.28	33.72	25.7	29.7
2	2017-08-03	14:51:16	21.22	20.69	21.16	20.19	1.64	1.61	1.61	1.71	34.8	33.31	34.07	34.52	17.9	39.7
3	2017-08-03	14:51:30	21.46	20.78	21.25	20.27	1.65	1.62	1.62	1.71	35.41	33.66	34.43	34.66	19	40.3
4	2017-08-03	14:51:45	21.23	20.75	21.23	19.98	1.65	1.61	1.6	1.71	35.03	33.41	33.97	34.17	19.2	39.8
5	2017-08-03	14:52:00	21.23	20.76	21.23	19.95	1.65	1.62	1.61	1.72	35.03	33.63	34.18	34.31	19.2	39.2
6	2017-08-03	14:52:16	21.23	20.75	21.22	19.89	1.65	1.61	1.6	1.7	35.03	33.41	33.95	33.81	19.9	39.3
7	2017-08-03	14:52:31	21.41	20.94	21.41	20.16	1.64	1.61	1.6	1.71	35.11	33.71	34.26	34.47	20.8	39.2
8	2017-08-03	14:52:46	21.4	20.97	21.4	20.18	1.64	1.61	1.61	1.71	35.1	33.76	34.45	34.51	21.4	38.4
9	2017-08-03	14:53:01	21.25	20.72	21.22	19.98	1.62	1.59	1.59	1.7	34.43	32.94	33.74	33.97	21	37.2
10	2017-08-03	14:53:18	21.27	20.81	21.28	20.02	1.63	1.59	1.59	1.69	34.67	33.09	33.84	33.83	21.4	36
11	2017-08-03	14:53:30	21.04	20.58	21.07	19.89	1.63	1.61	1.6	1.71	34.3	33.13	33.71	34.01	21.3	35.9
12	2017-08-03	14:53:45	21.06	20.6	21.03	19.73	1.63	1.6	1.59	1.7	34.33	32.96	33.44	33.54	21.3	35.6
13	2017-08-03	14:54:01	20.93	20.47	20.97	19.77	1.63	1.6	1.59	1.69	34.12	32.75	33.34	33.41	21.9	35.7
14	2017-08-03	14:54:16	20.91	20.45	20.95	19.89	1.62	1.59	1.6	1.69	33.87	32.52	33.52	33.61	23	35.6
15	2017-08-03	14:54:33	20.9	20.43	20.93	19.79	1.62	1.59	1.6	1.7	33.86	32.48	33.49	33.64	22.1	34.2
16	2017-08-03	14:54:46	20.9	20.43	20.88	19.73	1.61	1.58	1.59	1.68	33.65	32.28	33.2	33.15	22.2	34.3
17	2017-08-03	14:55:03	19.95	19.62	19.92	18.98	1.54	1.52	1.53	1.6	30.72	29.82	30.48	30.37	21.7	33.8
18	2017-08-03	14:55:15	20.99	20.52	21	19.8	1.63	1.59	1.59	1.69	34.21	32.63	33.39	33.46	21.4	33.6
19	2017-08-03	14:55:30	20.32	19.84	20.22	18.92	1.58	1.55	1.52	1.65	32.11	30.75	30.73	31.22	20.5	32.8
20	2017-08-03	14:55:45	20.67	20.28	20.77	19.57	1.61	1.58	1.58	1.69	33.28	32.04	32.82	33.07	19.7	32.9
21	2017-08-03	14:56:01	18.99	18.65	19.15	18.46	1.49	1.48	1.5	1.58	28.3	27.6	28.72	29.17	19.4	34.2

Figura 3-26 Parámetros de voltaje corriente y potencia de ambos paneles fotovoltaicos en la base de datos [Elaboración propia].

3.6.3. DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS PARA PARAMETROS METEOROLOGICOS.

A continuación se muestra la base de datos los parámetros meteorológicos como radiación, temperatura y humedad.



	id	idestacion	fechahora	radiacion
<input type="checkbox"/>	550955	1	2018-04-20 16:19:01	197.00
<input type="checkbox"/>	550956	1	2018-04-20 16:20:01	153.00
<input type="checkbox"/>	550957	1	2018-04-20 16:21:01	162.00
<input type="checkbox"/>	550958	1	2018-04-20 16:22:01	158.00
<input type="checkbox"/>	550959	1	2018-04-20 16:23:01	211.00
<input type="checkbox"/>	550960	1	2018-04-20 16:24:01	267.00
<input type="checkbox"/>	550961	1	2018-04-20 16:25:01	192.00
<input type="checkbox"/>	550962	1	2018-04-20 16:26:01	146.00
<input type="checkbox"/>	550963	1	2018-04-20 16:27:01	121.00
<input type="checkbox"/>	550964	1	2018-04-20 16:28:01	109.00
<input type="checkbox"/>	550965	1	2018-04-20 16:29:01	100.00
<input type="checkbox"/>	550966	1	2018-04-20 16:30:01	97.00
<input type="checkbox"/>	550967	1	2018-04-20 16:31:01	90.00
<input type="checkbox"/>	550968	1	2018-04-20 16:32:01	95.00
<input type="checkbox"/>	550969	1	2018-04-20 16:33:01	107.00
<input type="checkbox"/>	550970	1	2018-04-20 16:34:01	127.00
<input type="checkbox"/>	550971	1	2018-04-20 16:35:01	120.00
<input type="checkbox"/>	550972	1	2018-04-20 16:36:01	107.00
<input type="checkbox"/>	550973	1	2018-04-20 16:37:01	102.00
<input type="checkbox"/>	550974	1	2018-04-20 16:38:01	109.00

Figura 3-27 Parámetros de radiación, temperatura y humedad en la base de base de datos [Elaboración propia].

3.7. ELABORAR UN SISTEMA DE CARGAS PARA REALIZAR EL ESTUDIO COMPARATIVO DE POTENCIAS.

La Potencia entregada a cualquier carga es el producto de la corriente y el voltaje, habrá un valor particular de resistencia que dará como resultado la potencia máxima:

$$R_m = \frac{V_m}{I_m} \quad (3.1)$$

Donde:

V_m e I_m son el voltaje y la corriente en el punto de máxima potencia (MPP).

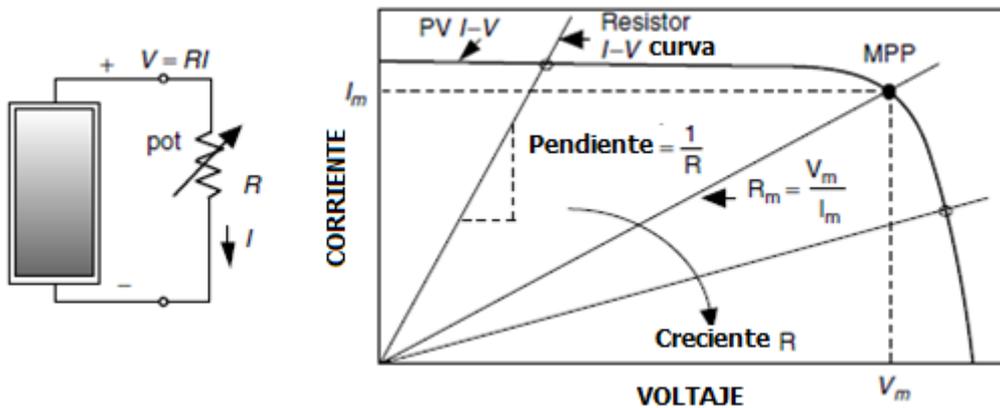


Figura 3-28 Un panel que suministra potencia a una carga resistiva. A medida que la resistencia cambia, el punto de operación se mueve en la curva I-V. [12]

Para la determinación de la resistencia se utilizó la fórmula (3.1) planteada por [12] y tomando los valores se detallan en la hoja de datos de cada panel.

Tabla 3.4 Resistencia máxima para la potencia máxima de los paneles [Elaboración propia].

Tecnología	Im (A)	Vm (V)	Rm (Ω)
Monocristalino 160 w	6.96	16.70	2.20
Policristalino 150 w	6.67	16.67	2.21

Los valores máximos de resistencia del monocristalino y policristalino son 2.2Ω y 2.21Ω Respectivamente.

Para elaborar el sistema de cargas no se pudo conectar con resistencias de carbón debido a que estos se fundirían, por lo tanto se implementó un módulo de resistencias fija adecuada a la potencia, voltaje y corriente generada por los paneles fotovoltaicos.

Para el presente estudio no se trabajó con valores máximos de potencia generada por los paneles por lo que se consideró resistencia nicrom con valores de 12.5Ω para ambos

paneles además que son comerciales en nuestro medio, y estas se conectaron en paralelo a la tarjeta de adquisición de datos.



Figura 3-29 Cargas resistivas de nicrom cada uno utilizadas para el estudio [Elaboración propia].

También para medir el voltaje y corriente y potencia se puso una carga electrónica (ZHIYU ZPB30A1) de corriente constante que simula una carga ficticia, este dispositivo puede llegar a consumir hasta 60W a voltajes de 1 V a 25 V, corriente de 200mA a 9.9 A el disipador de calor principalmente es El MOSFET IRFP150, este dispositivo tiene una potencia de 100v 42A, con una disipación máxima de potencia de 160W. A la derecha hay un diodo dual para la protección de polaridad inversa, esto está en serie con el MOSFET a la izquierda está el termistor para controlar la velocidad del ventilador por PWM, todo esto controlado en base de un microcontrolador STM8.



Figura 3-30 Cargas electrónicas de 60 W cada uno utilizadas para el estudio [Elaboración propia].

CAPITULO 4
ADQUISICION Y ANALISIS DE
DATOS

4.1. EL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

Dentro de los objetivos específicos de ese trabajo se planteó el desarrollo el sistema de adquisición de datos, a continuación se muestra todo el sistema de adquisición desarrollado en este trabajo ver Figura 4-1, para más información revisar Anexo 1 para ver el código de programación del microcontrolador PIC 16F877A y de la Raspberry pi 3, para ver la parte del hardware y el plano unifilar eléctrico revisar en el Anexo 2.

MODULOS FOTOVOLTAICOS

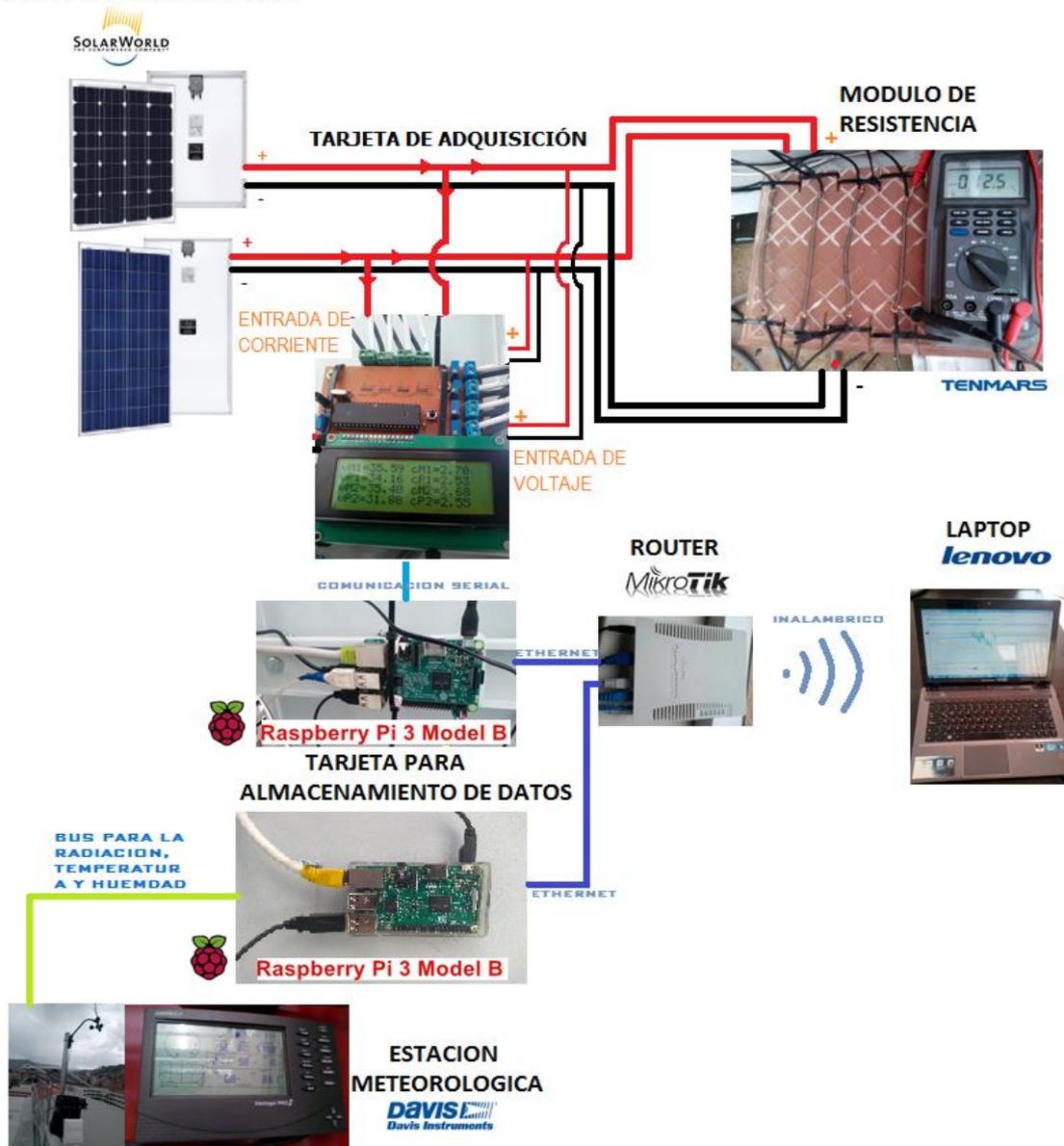


Figura 4-1 Esquema del sistema eléctrico para las medidas de voltaje-corriente, radiación temperatura y humedad [Elaboración propia].

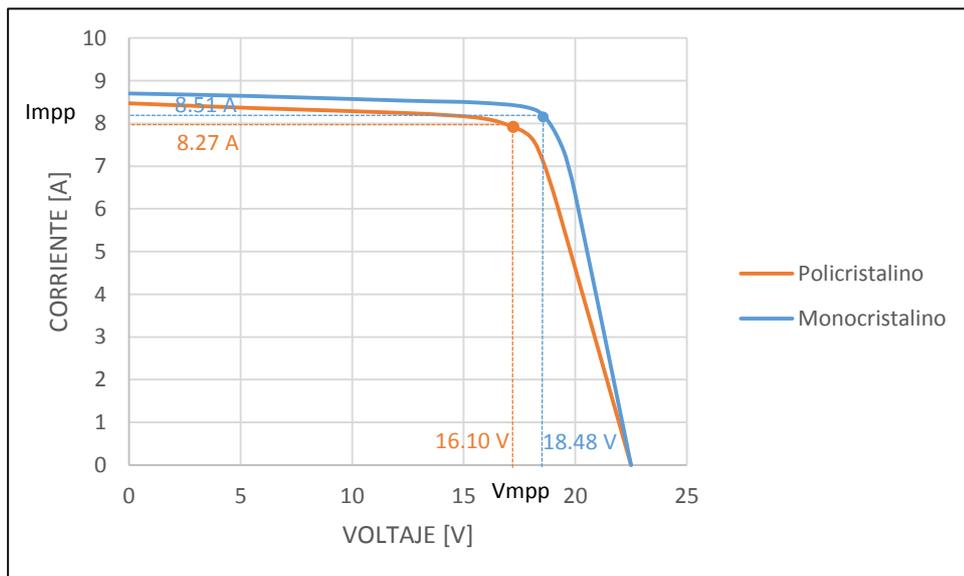
El sistema de adquisición de datos comprende la tarjeta de adquisición (las que contiene los sensores de voltaje y corriente), tarjeta de almacenamiento y el módulo de carga (resistencias) en el sistema fotovoltaico realiza lo siguiente:

- Recibe datos de los sensores de voltaje (los rangos de valores de voltajes son de 0 - 22.97 V del panel monocristalino y 0 - 22.33 V para el panel policristalino) y los sensores de corrientes (y el rango de valores de corriente son de 0-8.56 A del panel monocristalino y de 0 - 8.37 A del panel policristalino).
- Procesa los datos con el microcontrolador (PIC16F77A) y luego envía los datos por medio del puerto serie (RS232) a una base de datos (Raspberry pi 3)
- Visualiza la información almacenada para su respectivo análisis.

4.2. RESULTADO DEL SISTEMA DE CARGA

La carga que se utilizó para realizar el análisis fue de nicrom (2.2 ohm) ya que esta carga exige al panel solar su mayor potencia.

La curva de voltaje - corriente se obtuvo gracias a los datos de voltaje y corriente que se registraron en la tarjeta de almacenamiento.



Grafica 4-1 Determinación del punto de operación en la curva voltaje – corriente [Elaboración propia].

En la Grafica 4-1 se muestra la curva Voltaje – Corriente y el punto de operación de potencia de los paneles cuando son conectados a cargas de nicrom de 2.2 ohm, donde se desarrolló el análisis de potencia generado por el panel monocristalino y policristalino, obteniendo potencias con valores de 96.67-158.19 W y 61.94-134.76 W respectivamente.

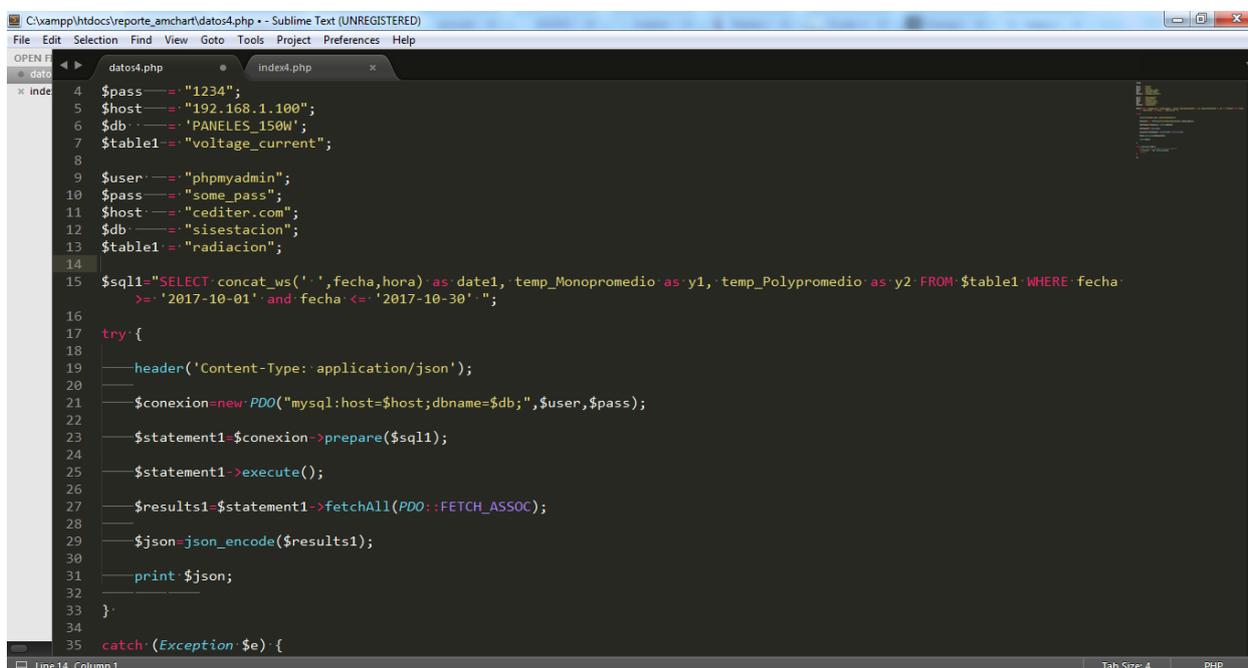
Con la carga electrónica se registró potencias con valores de 39.29W del panel monocristalino y 37.37W del panel policristalino, y como límite esta carga electrónica solo consume de 0 a 60 W de potencia, esto hace que no consuma toda la potencia generada por los paneles fotovoltaicos por lo que no se utilizó para hacer el análisis de la eficiencia del panel.

4.3. DETERMINAR LAS VARIABLES TALES COMO LA RADIACIÓN SOLAR, TEMPERATURA Y HUMEDAD QUE AFECTAN EN LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA.

4.3.1. DETERMINAR LA RADIACIÓN SOLAR DIARIA

Para determinar la radiación solar se hizo uso del pirómetro que viene incorporado en la estación meteorológica Vantage Pro 2 y también se hace uso de herramientas informáticas para el procesamiento de la información el cual se desarrolló un código para la visualización y análisis utilizando directamente la base de datos. Por ello se detalla el código en PHP para determinar la radiación solar obtenida por la estación meteorológica.

En la Figura 4-2 se detalla la selección de la base de datos y la tabla donde se encuentra los datos de la radiación también se hace la selección de las fechas para poder obtener el periodo de un día y ser graficados.



```
4 $pass = "1234";
5 $host = "192.168.1.100";
6 $db = "PANELES_150W";
7 $table1 = "voltage_current";
8
9 $user = "phpmyadmin";
10 $pass = "some_pass";
11 $host = "cediter.com";
12 $db = "sisestacion";
13 $table1 = "radiacion";
14
15 $sql1="SELECT concat_ws(' ', fecha,hora) as date1, temp_Monopromedio as y1, temp_Polypromedio as y2 FROM $table1 WHERE fecha
16 >= '2017-10-01' and fecha <= '2017-10-30'";
17
18 try {
19     header('Content-Type: application/json');
20     $conexion=new PDO("mysql:host=$host;dbname=$db;", $user, $pass);
21     $statement1=$conexion->prepare($sql1);
22     $statement1->execute();
23     $results1=$statement1->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
24     $json=json_encode($results1);
25     print $json;
26 }
27 catch (Exception $e) {
```

Figura 4-2 Programación en PHP para determinar la radiación global [Elaboración propia].

A continuación se tienen los siguientes resultados que son ilustrados con las capturas de pantalla de la página (para mayor información revisar Anexo 6) para poder graficar se utilizó el navegador Chrome con el URL²: localhost:8080/reporte_amchart/index4.php previo a la activación del servidor XAMPP. Cabe aclarar que en el grafico se puede observar lo siguiente:

1. El grafico representa el comportamiento de la radiación solar en un tiempo dado en este caso para mejor visibilidad se representa a la captura de datos durante un solo día.
2. Como referencia para determinación de la radiación se tomó el área bajo la curva naranja (promedio de los valores instantáneos tomados cada minuto).

² Un URL se usa para identificar direcciones de correo electrónico, localización de archivos a transferir, bases de datos y otros elementos a los que se accede mediante Internet.

3. Las variaciones de las curvas naranja se debe a los días con sombra en el medio, esto se debe a la presencia de la nubes.
4. El día en que se ha comenzado a tomar los datos fue desde el 24-04-2017 hasta el 18-11-2017.

A continuación se representa las capturas de pantallas de los gráficos, Figura 4-3, Figura 4-4 y Figura 4-5 correspondientes a esas fechas de la radiación solar.

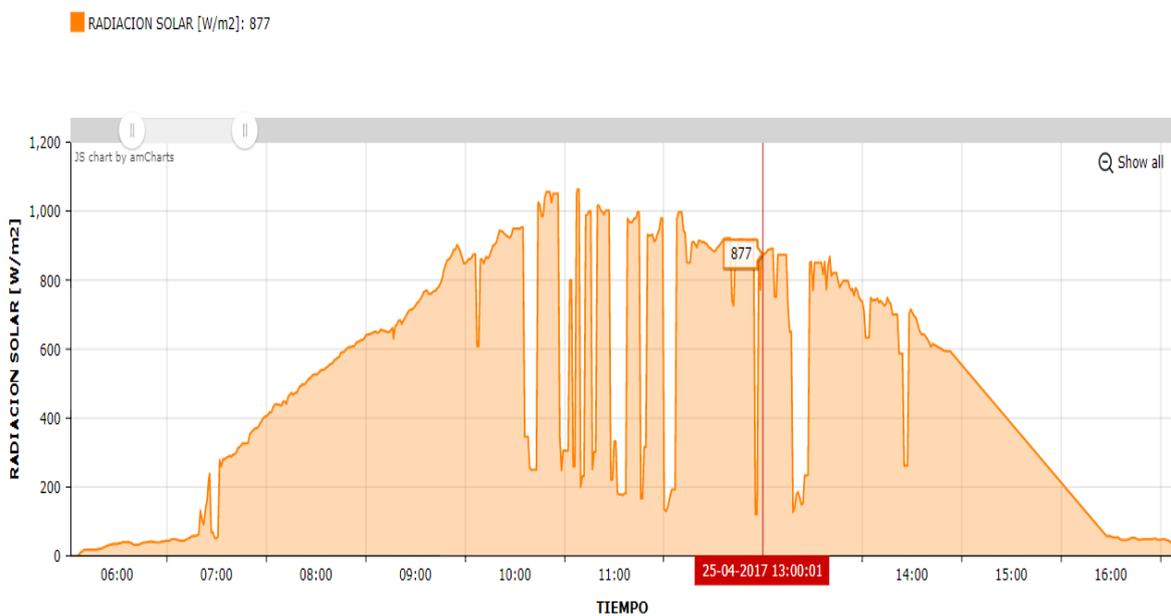


Figura 4-3 Graficas de radiación solar diaria sombreada 27-04-2017 [Elaboración propia].

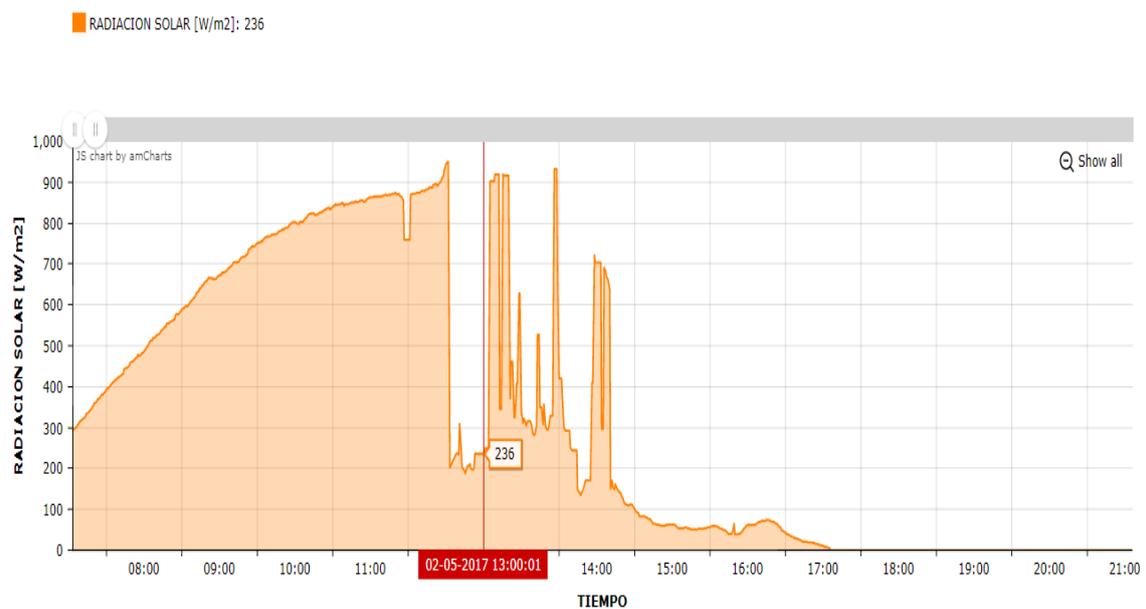


Figura 4-4 Grafica de radiación solar diaria soleado-nublado 02-05-2017 [Elaboración propia].

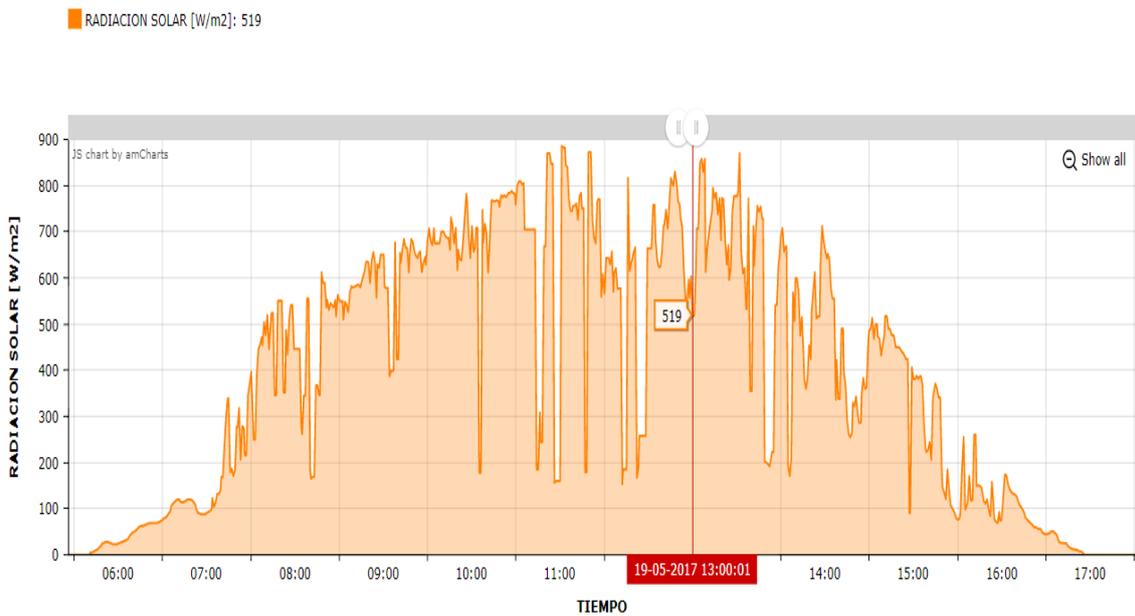


Figura 4-5 Grafica de la radiación solar diaria soleado con nubosidad 19-05-2017 [Elaboración propia].

La radiación solar que recibe la superficie del panel fotovoltaico en un instante dado es el dato climatológico principal en el estudio, lo ideal sería medir la radiación total es decir las componentes directa, difusa y albedo, como el sensor de radiación realiza la medición de radiación ubicada de forma horizontal viendo hacia arriba, en este caso puede considerarse que no existe la componente de radiación albedo por lo tanto la medida es la radiación global, la cual será la suma de componente directa y la difusa.

La estación meteorológica se programó para la toma de datos cada minuto, es decir se toma 720 datos todos los días.

Es importante resaltar que para poder extraer los datos de cada día, se tomaron desde las 9:00:00 am hasta las 15:00:00 pm del registro de la base de datos el cual se utilizó el código MySQL en la plataforma PhpMyAdmin. Se escogió dicho intervalo porque se alcanzaron los mejores niveles de radiación solar,

```
SELECT MAX(radiacion), MIN(radiacion), AVG(radiacion) FROM
`radiacion` WHERE fechahora >= '2017-05-02 09:00:00' and fechahora
< '2017-05-02 15:00:00'
```

Estos datos fueron procesados a Excel para sacar promedios que a continuación se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Medidas de los datos climatológicos radiación solar de la estación meteorológica [Elaboración propia].

Mes	Radiación instantánea Máxima (W/m ²)	Radiación instantánea Mínima (W/m ²)	Promedio de Radiación instantánea(W/m ²)
Abril	1072,76	131,00	561,67
Mayo	919,89	145,44	444,91
Junio	817,43	268,14	537,61
Julio	820,17	273,56	633,11
Agosto	969,75	230,21	666,21
Septiembre	1176,13	134,57	623,86
Octubre	1156,35	178,60	722,30
Noviembre	1089,33	186,44	700,90

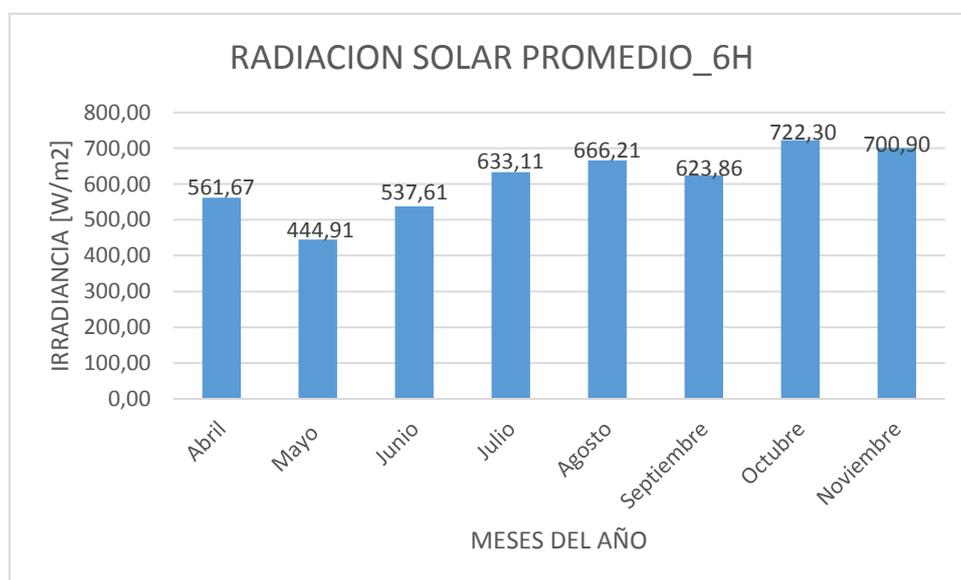


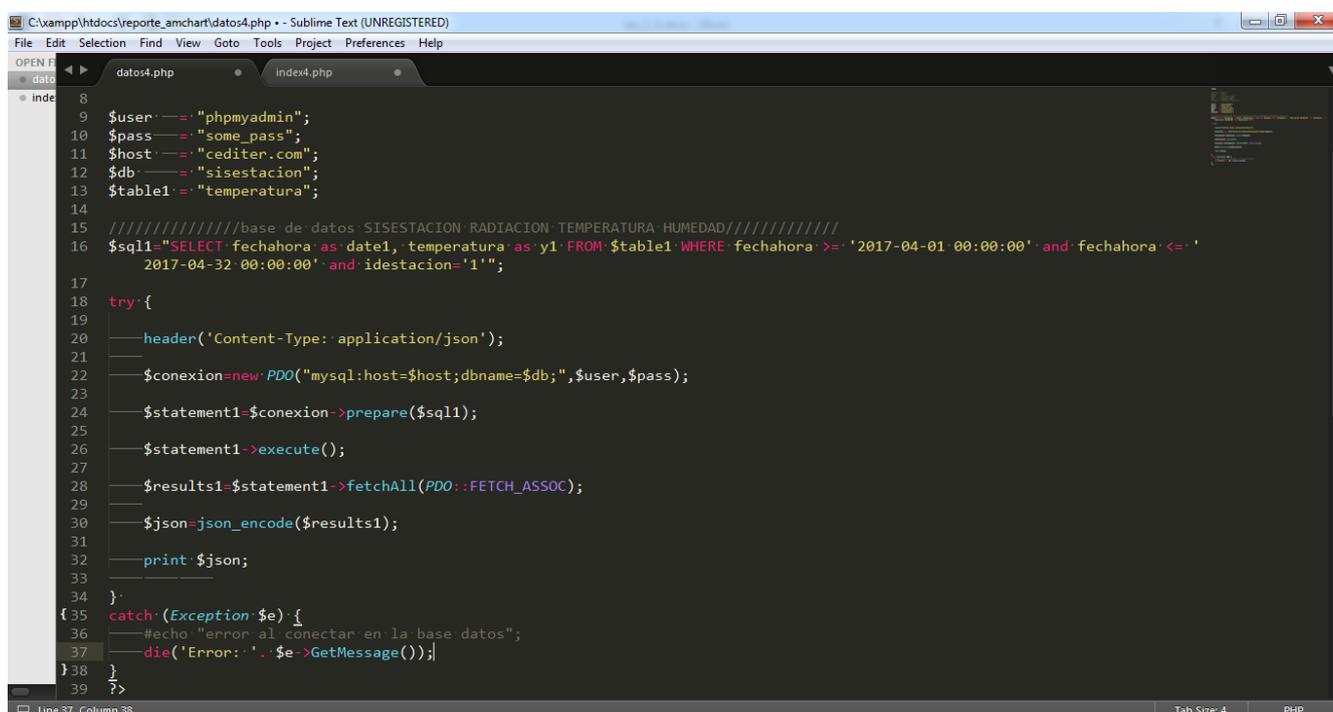
Figura 4-6 Promedio mensual de Radiación Solar en Cusco [Elaboración propia].

La grafica de la Figura 4-6 representa el promedio de la radiación que incide sobre el generador fotovoltaico durante el intervalo de tiempo antes mencionando, entonces esta grafica aporta el promedio irradiancia solar medida en Cusco desde el mes de abril a

noviembre. En las gráficas también se observa que los niveles de irradiancia son menores de 1000 W/m² siendo mayor en el mes de octubre con 722.30 W/m².

4.3.2. DETERMINAR DE LA TEMPERATURA AMBIENTE DIARIA

Para determinar la temperatura se utilizó el sensor de temperatura que viene incorporado en la estación meteorológica y también se desarrolló un código en base a las herramientas informáticas como PHP para el procesamiento, visualización y análisis de los datos. Por ello se detalla el código en PHP (ver Anexo 1) para determinar la temperatura ambiente.



```
C:\xampp\htdocs\reporte_amchart\datos4.php - Sublime Text (UNREGISTERED)
File Edit Selection Find View Goto Tools Project Preferences Help
OPEN F
dato
index4.php
8
9 $user = "phpmyadmin";
10 $pass = "some_pass";
11 $host = "cediter.com";
12 $db = "sisestacion";
13 $table1 = "temperatura";
14
15 //////////////////////////////////////////////////base de datos SISESTACION RADIACION TEMPERATURA HUMEDAD////////////////////////////////////
16 $sql1="SELECT fechahora as date1, temperatura as y1 FROM $table1 WHERE fechahora >= '2017-04-01 00:00:00' and fechahora <= '
2017-04-32 00:00:00' and idestacion='1'";
17
18 try {
19
20 header('Content-Type: application/json');
21
22 $conexion=new PDO("mysql:host=$host;dbname=$db;", $user, $pass);
23
24 $statement1=$conexion->prepare($sql1);
25
26 $statement1->execute();
27
28 $results1=$statement1->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
29
30 $json=json_encode($results1);
31
32 print $json;
33
34 }
35 catch (Exception $e) {
36 echo "error al conectar en la base datos";
37 die('Error: ' . $e->getMessage());
38 }
39 ?>
```

Figura 4-7 Programación en PHP para determinar la temperatura ambiente [Elaboración propia].

A continuación se tienen los siguientes resultados que son ilustrados con las capturas de pantalla (ver Anexo 6) del siguiente enlace: localhost:8080/report_e_amchart/index4.php esto se coloca en cualquier navegador web que temporalmente alojan los gráficos.

Cabe aclarar que los gráficos Figura 4-8, Figura 4-9 y Figura 4-10 se puede observar la variación de la temperatura ambiente durante un día.

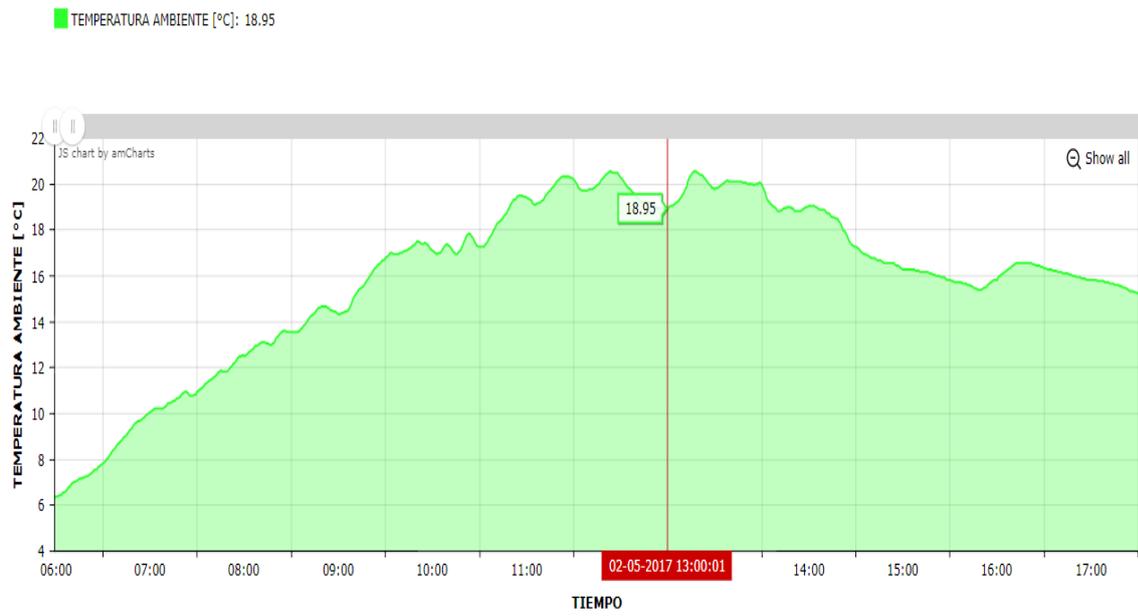


Figura 4-8 Graficas de temperatura diaria sombreada 27-04-2017 [Elaboración propia].

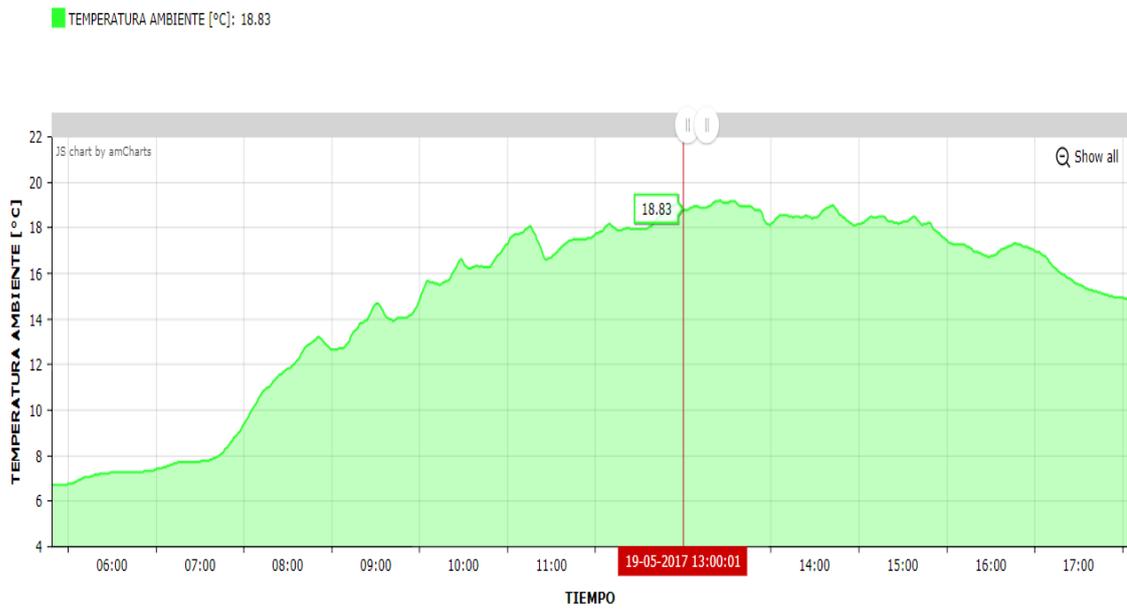


Figura 4-9 Grafica de temperatura diaria soleado-nublado 02-05-2017 [Elaboración propia].



Figura 4-10 Grafica de la temperatura diaria soleado con nubosidad 19-05-2017 [Elaboración propia].

Para poder extraer los datos de cada día tomados desde las 9:00:00 am hasta las 15:00:00 del registro de la base de datos se utilizó el código MySQL.

```
SELECT MAX(temperatura), MIN(temperatura), AVG(temperatura) FROM
`temperatura` WHERE fechahora >= '2017-05-02 09:00:00' and
fechahora <= '2017-05-03 15:00:00'
```

Estos datos fueron procesados a Excel para sacar promedios que a continuación se muestra en la Tabla 4.2

Tabla 4.2 Medidas de los datos climatológicos Temperatura de la estación meteorológica [Elaboración propia].

Mes	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Promedio de Temperatura (°C)
Abril	18,84	13,19	16,57
Mayo	17,69	12,12	15,57
Junio	19,15	13,72	17,12
Julio	20,34	11,29	16,91
Agosto	20,10	13,19	17,39
Setiembre	19,85	13,69	17,31
Octubre	21,70	14,98	18,73
Noviembre	21,24	15,41	18,61

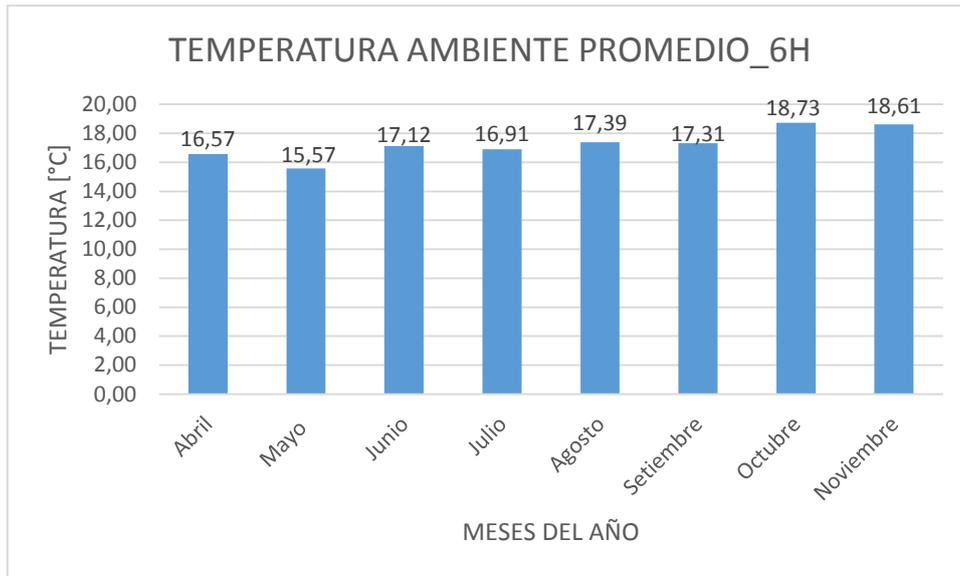


Figura 4-11 Promedio mensual de Temperatura Ambiente en Cusco [Elaboración propia].

En la gráfica de la Figura 4-11 representa el promedio de la temperatura ambiente, se observa que en todos los meses la temperatura está por debajo a 20°C siendo el mes de octubre con mayor temperatura con 18.73°C como se esperó donde hay mayor temperatura existe mayores niveles de radiación solar.

4.3.3. DETERMINAR DE LA HUMEDAD DIARIA

Para determinar la humedad se utilizó el sensor de humedad que viene incorporado en la estación meteorológica y también se desarrolló un código en base a las herramientas

```

8
9 $user = "phpmyadmin";
10 $pass = "some_pass";
11 $host = "cediter.com";
12 $db = "sisestacion";
13 $table1 = "humedad";
14
15 //////////////////////////////////////////////////base de datos SISESTACION RADIACION TEMPERATURA HUMEDAD//////////////////////////////////////
16 $sql1="SELECT fechahora as date1, humedad as y1 FROM $table1 WHERE fechahora >= '2017-05-01 00:00:00' and fechahora <= '
17 2017-05-32 00:00:00' and idestacion='1'";
18
19 try {
20     header('Content-Type: application/json');
21     $conexion=new PDO("mysql:host=$host;dbname=$db;", $user, $pass);
22     $statement1=$conexion->prepare($sql1);
23     $statement1->execute();
24     $results1=$statement1->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
25     $json=json_encode($results1);
26     print $json;
27 }
28 catch (Exception $e) {
29     #echo "error al conectar en la base datos";
30     die("Error: ". $e->getMessage());
31 }
32
33
34
35
36
37
38
39

```

Figura 4-12 Programación en PHP para determinar la humedad relativa [Elaboración propia].

Informáticas como PHP para el procesamiento, visualización y análisis de los datos utilizando directamente la base de datos del Raspberry pi 3. Por ello se detalla el código en PHP para determinar la humedad, revisar Anexo 1

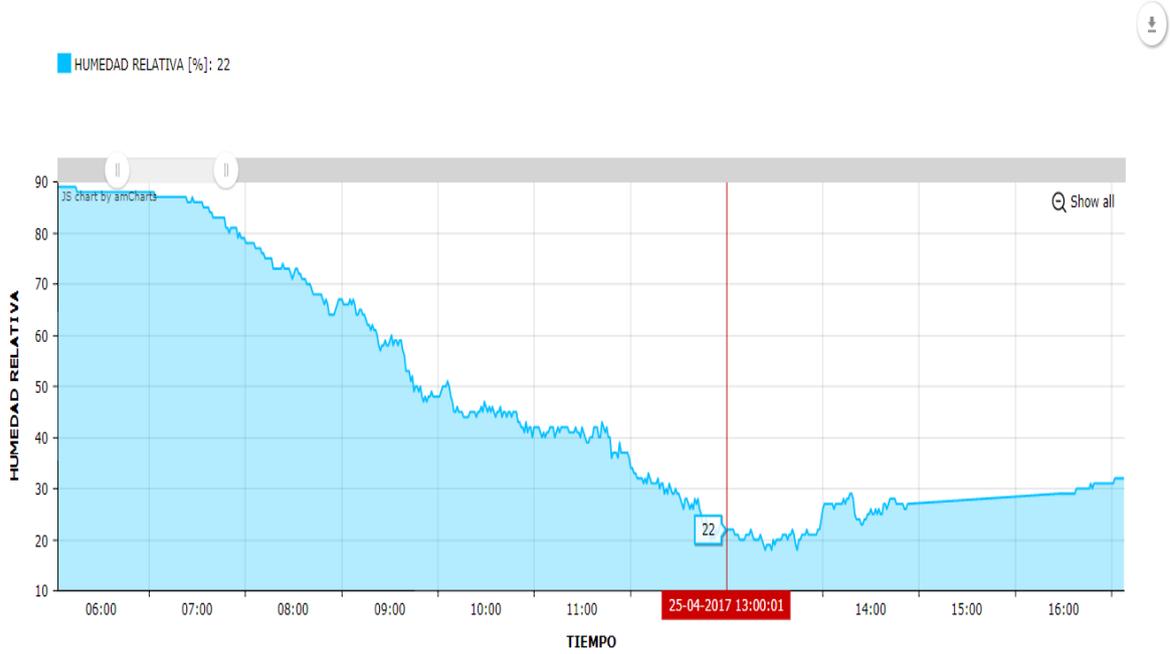


Figura 4-13 Graficas de humedad diaria 25-04-2017 [Elaboración propia].

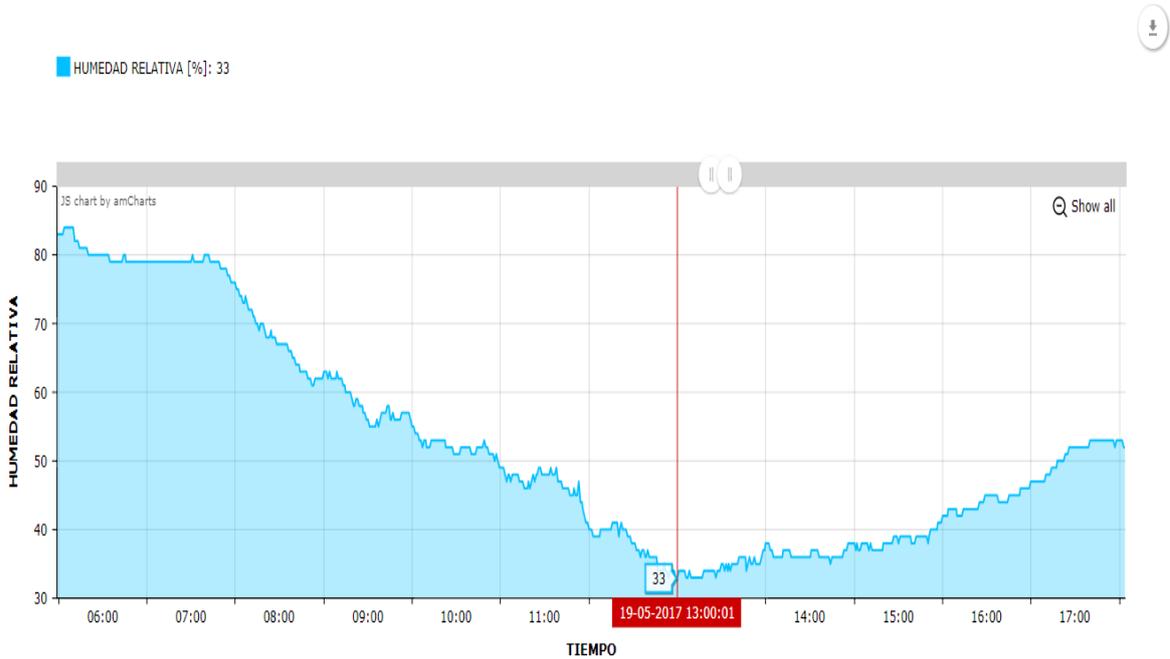


Figura 4-14 Grafica de humedad diaria soleado-nublado 02-05-2017 [Elaboración propia].

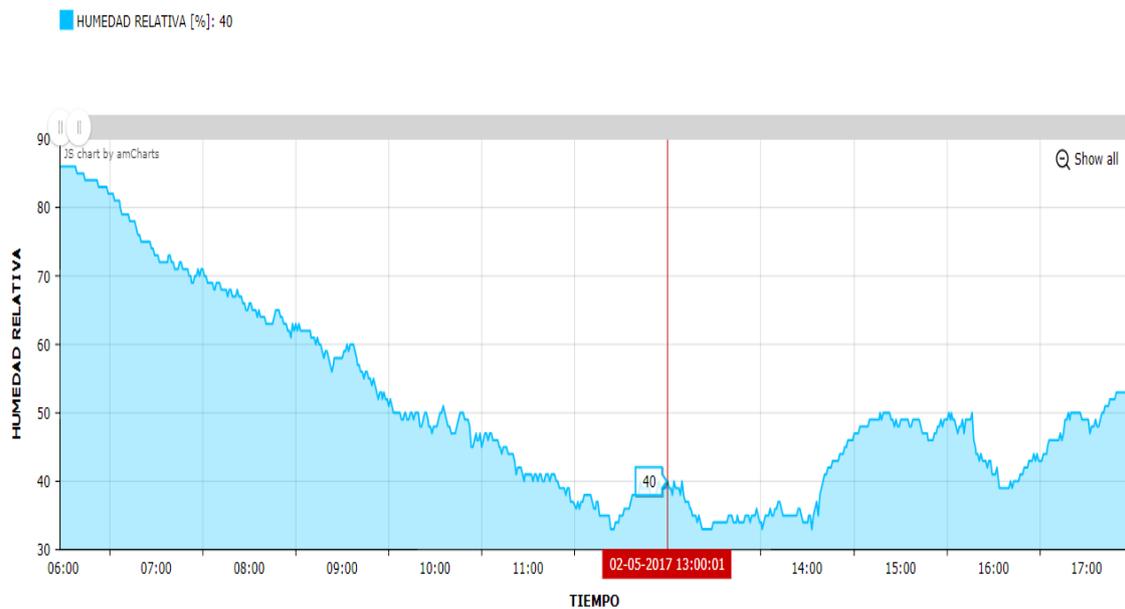


Figura 4-15 Gráfica de la humedad diaria soleado con nubosidad 19-05-2017 [Elaboración propia].

Para poder extraer los datos de cada día tomados desde las 9:00:00 am hasta las 17:00:00 del registro de la base de datos se utilizó el código MySQL.

```
SELECT MAX(humedad), MIN(humedad), AVG(humedad), FROM `humedad`
WHERE fechahora >= '2017-05-02 09:00:00' and fechahora < '2017-05-03 17:00:00'
```

Estos datos fueron procesados a Excel para sacar promedios que a continuación se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Medidas de los datos climatológicos Humedad de la estación meteorológica [Elaboración propia].

Mes	Humedad Máxima (°%)	Humedad Mínima (%)	Promedio de Humedad (%)
Abril	68,40	40,56	51,68
Mayo	69,61	42,78	53,02
Junio	46,71	26,86	34,90
Julio	53,56	19,28	32,78
Agosto	51,50	21,71	33,06
Septiembre	56,70	30,60	40,28
Octubre	51,70	25,90	36,50
Noviembre	54,44	30,22	39,37

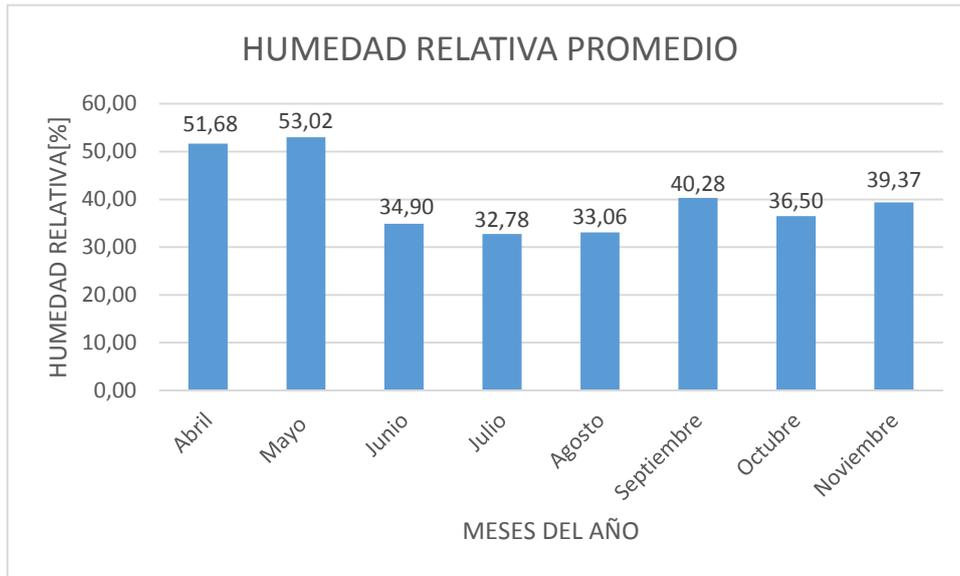


Figura 4-16 Promedio mensual de Humedad Relativa en Cusco [Elaboración propia].

En la gráfica de la Figura 4-16 Promedio mensual de Humedad Relativa en Cusco Figura 4-16 representa el promedio de la humedad relativa, se observa que a los meses con una humedad que está por debajo a 60% siendo abril y mayo con 51.68% y 53.02% respectivamente con mayor humedad y menor con humedad de 32.78% el mes de julio.

A continuación se muestra los valores promedios de las variables climatológicas en Cusco desde el mes de abril hasta el mes de noviembre

Tabla 4 Promedio mensual de las variables climatológicas en Cusco 2017 [Elaboración propia].

Mes	Promedio de Radiación (W/m ²)	Promedio de Temperatura (°C)	Promedio de Humedad (%)
Abril	561,67	16,57	51,68
Mayo	444,91	15,57	53,02
Junio	537,61	17,12	34,90
Julio	633,11	16,91	32,78
Agosto	666,21	17,39	33,06
Septiembre	623,86	17,31	40,28
Octubre	722,30	18,73	36,50
Noviembre	700,90	18,61	39,37

4.4. DETERMINACION LA POTENCIA GENERADA POR PANELES FOTVOLTAICOS MONOCRISTALINOS Y POLICRISTALINOS.

Para la determinación de la potencia generada por ambos paneles fotovoltaicos primero se obtuvo datos de voltaje y corriente a través del sistema de adquisición de datos explicado anteriormente, para luego hacer uso de la ley de ohm.

$$I = \frac{V}{R} \quad (4.1)$$

La ecuación (4.1) viene a ser la ley ohm donde: la corriente (I) es el cociente entre el voltaje (V) y la resistencia (R).

Para calcular la potencia (P), la ley de ohm señala que se obtiene con el producto entre el voltaje (V) y la corriente (I), según la ecuación (4.2).

$$P = V \times I \quad (4.2)$$

Haciendo uso de la ecuación (4.2) se obtuvo los datos de potencia de ambos paneles fotovoltaicos que fueron almacenados en la base de datos del Raspberry pi 3.

En las siguiente grafica [Figura 4-17](#) se muestran los resultados de las variables de potencias cuando los paneles fotovoltaicos están expuesto a los rayos electromagnéticos del sol a 13° grados de inclinación y dirigidos hacia el norte. Esta prueba se llevó a cabo el día 4 de agosto del 2017 un día soleado de todo el día en un intervalo de cada minuto. Cabe indicar que el sistema mide solo voltaje y corriente y el producto de ambos resulta la potencia.

En el Anexo 4 se muestran los valores voltaje, corriente que se han obtenido.

Para poder extraer los datos de potencia se consideró de la siguiente manera: se tomó datos de cada día en intervalos de tiempo entre las 09:00:00 am hasta las 15:00:00 pm de la base de datos del Raspberry pi 3 y para ello se hizo uso del código MySQL que a continuación se muestra.



Figura 4-17 Potencia generada por el panel monocristalino y policristalino [Elaboración propia].

```
SELECT MAX(pMonoi), MAX(pPolyi), MIN(pMonoi), MIN(pPolyi), AVG(pMonoi), AVG(pPolyi), SUM(pMonoi)/(60*1000), SUM(pPolyi)/(60*1000), count(pMonoi), count(pPolyi) FROM `niveles` WHERE fecha = '2017-08-04' and hora >= '09:00:00' and hora <= '15:00:00'
```

Por los cuales se obtiene el resumen en las siguientes tablas

Tabla 4.5 Medidas de los datos de potencia instantánea de los paneles con carga electrónica [Elaboración propia].

Mes	Promedio Potencia Mono (W)	Promedio Potencia Poli (W)
abril	39,45	37,99
mayo	33,75	34,00
junio	40,18	37,55
julio	48,15	46,81

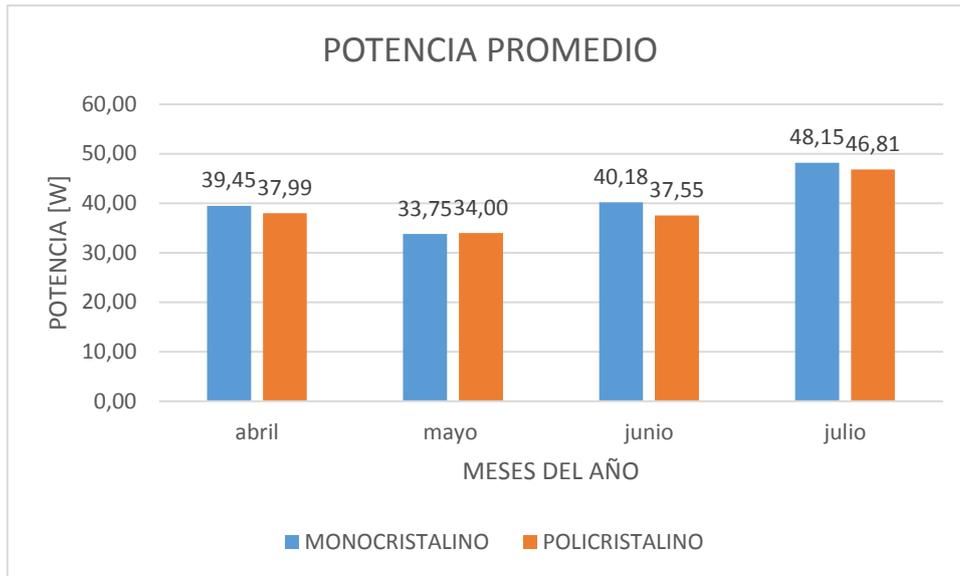


Figura 4-18 Promedio mensual de Potencia de los paneles en Cusco con carga electrónica [Elaboración propia].

Según las especificaciones eléctricas del fabricante del panel monocristalino y policristalino las potencias fluctúan de 0 - 160 W y 0 - 150 W respectivamente para condiciones estándares de medida y si los paneles trabajan en su punto de operación máxima entregan potencias de 160 y 150 W, pero como se dijo anteriormente en este estudio se trabajó con valores de potencias de que fluctúan de 0-63.70 W del panel monocristalino y 0-61.69W del panel policristalino es decir los paneles trabajaron aproximadamente 2.5 veces y 2.4 veces respectivamente por debajo del valor de operación máxima desde 03 de abril 2017 al 31 de julio del 2017 con carga electrónica. Y con la carga de nicrom se obtuvieron potencias con valores que fluctúan de 0-41.22W del panel monocristalino y 40.09W del panel policristalino es decir los paneles trabajaron aproximadamente 3.9 veces y 3.7 veces respectivamente por debajo del valor de operación máxima desde 04 de agosto del 2017 hasta 09 de noviembre del 2017.

Tabla 4.6 Medidas de los datos de potencia instantánea de los paneles con carga resistiva de nicrom.

Mes	Promedio Potencia Mono (W)	Promedio Potencia Poli (W)
Agosto	31,10	30,51
Septiembre	29,92	29,65
Octubre	29,17	29,01
Noviembre	30,57	29,15

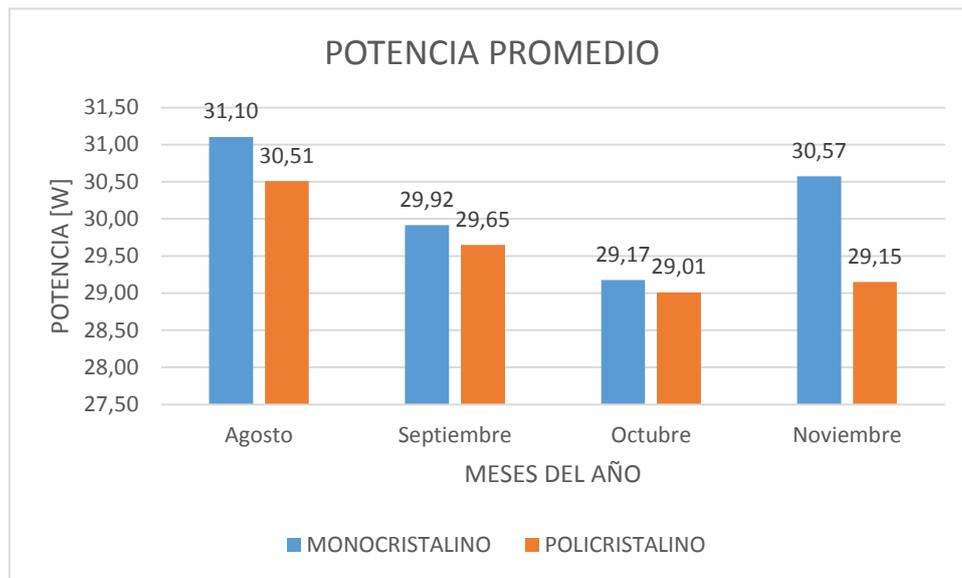


Figura 4-19 Promedio mensual de Potencia de los paneles en Cusco con carga de nicrom [Elaboración propia].

4.5. EVALUAR Y COMPARAR LA EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

El factor de eficiencia de conversión de energía solar de una célula (η) es el porcentaje de potencia convertida (de la luz solar absorbida por la célula) en energía eléctrica.

La eficiencia del panel fotovoltaico se establece con la relación entre la potencia útil ($P_u=160W$ en este estudio), es decir la máxima potencia que puede aportar el panel teóricamente y, la potencia absorbida ($P_a=1000 \times 0.864$ en este estudio) que es la que recibe realmente.

Para determinar la eficiencia se utilizó la ecuación (4.3) empleada por [20, p. 92]

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{R_{st} \times A} \times 100\% \quad (4.3)$$

Donde η_{max} es la eficiencia del panel, P_{max} es la potencia máxima, R_{st} es la radiación estándar de 1000 W/m^2 y A es el área del panel por metro cuadrado. Para el panel monocristalino se tiene un área de 0.864 m^2 y una potencia de $160W$ (se asoció dos paneles de $80W$) y para el panel policristalino tiene un área también de 0.864 m^2 y con una potencia de $150W$. A continuación se logra calcular la eficiencia de los paneles.

Tabla 4.7 Especificaciones técnicas de los paneles a condiciones estándares [Elaboración propia].

Tecnología	Pmax (W)	Área total (m ²)	η (%)
Monocristalino 160 w	160	0.864	18.52
Policristalino 150 w	150	0.864	17.36

Se obtiene la eficiencia de 18.52% para el panel monocristalino y 17.36% para el panel policristalino.

A continuación se muestra la eficiencia cuando al panel se somete a las siguientes condiciones de 800 W/m², TONC, AM 1.5 (TONC Temperatura de Operación Nominal de la Célula).

Tabla 4.8 Especificaciones técnicas de los paneles a condiciones TONC [Elaboración propia].

Tecnología	Pmax (W)	Área total (m ²)	η (%)
Monocristalino 160 w	116.2	0.864	16.81
Policristalino 150 w	110.1	0.864	15.93

Se obtiene la eficiencia de 16.81% para el panel monocristalino y 15.93% para el panel policristalino.

En la parte experimental en el día 21 de abril siendo las 12:13 pm 2018 se evaluó con una radiación de 995 W/m², una temperatura ambiente de 17.61 °C y con una carga nicrom de 2.2 ohm se obtuvo eficiencias del 18.40% del panel monocristalino y un 15.67% del panel policristalino.

Tabla 4.9 Especificaciones técnicas de los paneles a condiciones experimentales [Elaboración propia].

Tecnología	Pmax (W)	Área total (m ²)	η (%)
Monocristalino 160 w	158.19	0.864	18.40
Policristalino 150 w	134.76	0.864	15.67

4.6. DESCRIPCION DE LOS RESULTADOS OBTENIDO DEL ESTUDIO

4.6.1. INFLUENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN LA POTENCIA GENERADA POR EL PANEL MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO

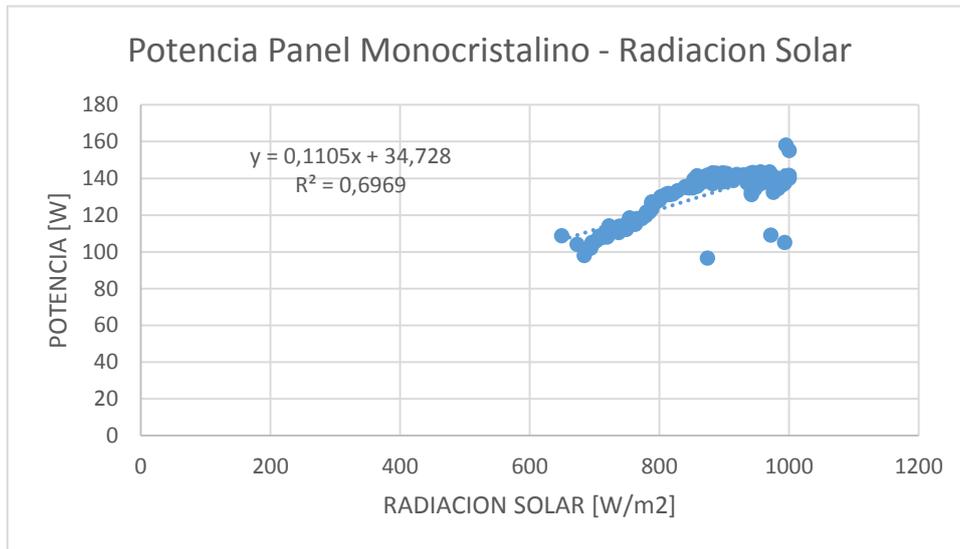


Figura 4-20 Potencia en función de Radiación Solar del panel monocristalino [Elaboración propia].

En la Figura 4-20 se presenta la evolución de la potencia del panel monocristalino en función de la radiación solar, esta potencia se logra cuando la radiación solar tiene valores entre 600-1000 W/m²), y cuando la carga de prueba es la resistencia de nicrom.

Como se puede ver el rango de valores de potencia es de 96,67 W - 158,19 W

La variación 0,1105 W/ [W/m²] significa que por cada vatio por metro cuadrado que aumenta, el panel aumenta su potencia en 0,1105W, este valor es respecto a los 600 - 1000 W/m² que se aproxima a las especificaciones a condiciones estándares de los paneles fotovoltaicos.

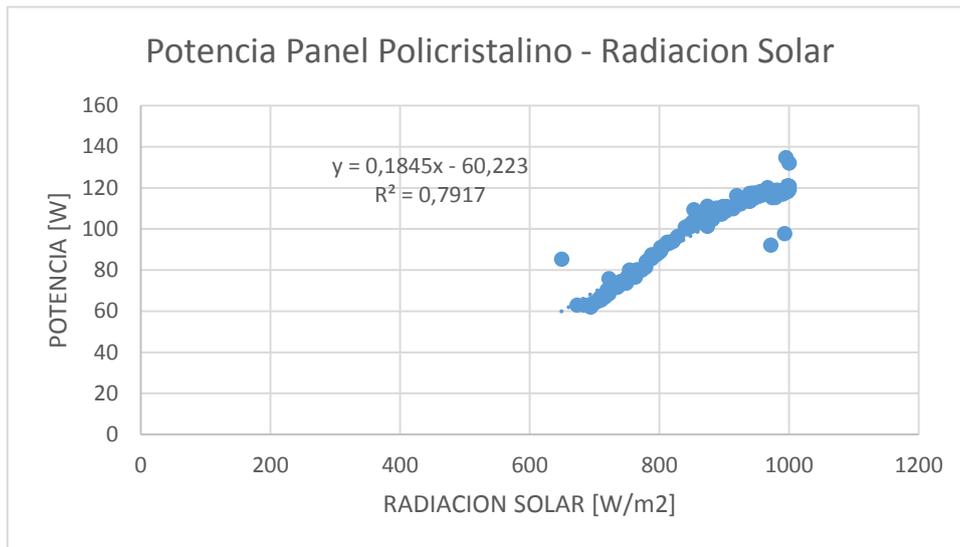


Figura 4-21 Potencia en función de Radiación Solar del panel policristalino [Elaboración propia].

En la Figura 4-21 se presenta la evolución de la potencia del panel policristalino en función de la radiación solar, esta potencia se logra cuando la radiación solar tiene valores entre 600-1000 W/m²), y cuando la carga de prueba es la resistencia de nicrom.

Como se puede ver el rango de valores de potencia es de 61.94W – 134.76W

La variación 0,1845 W/ [W/m²] significa que por cada vatio por metro cuadrado que aumenta, el panel aumenta su potencia en 0,1845 W, este valor es respecto a los 600 - 1000 W/m² que se aproxima a las especificaciones a condiciones estándares de los paneles fotovoltaicos.

4.6.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA POTENCIA GENERADA POR EL PANEL MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO

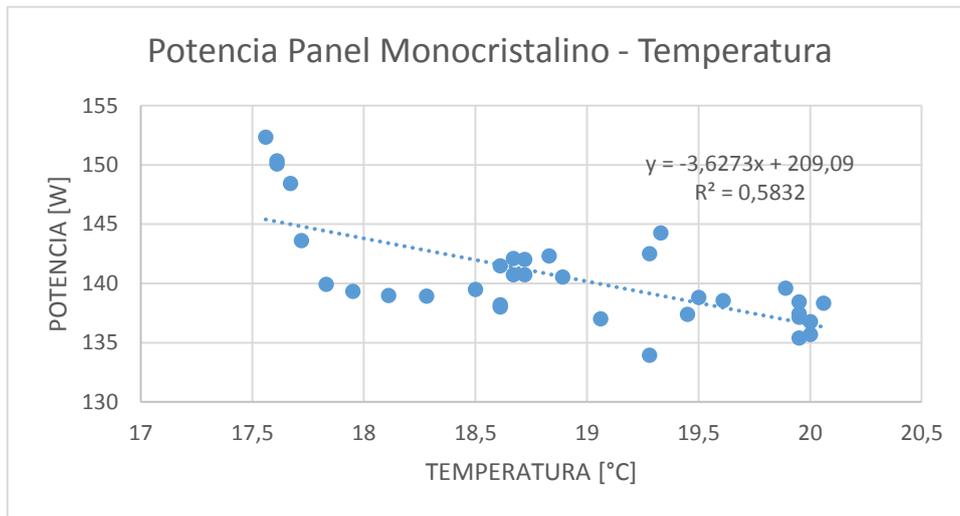


Figura 4-22 Máxima potencia panel monocristalino en función de la temperatura ambiente [Elaboración propia].

En la Figura 4-22 se presenta la evolución de la máxima potencia del panel monocristalino en función de la temperatura, esta potencia máxima se logra cuando la radiación solar tiene valores mayores a los 1000 W/m² (rango es de 1002-1076 W/m²), y cuando la carga de prueba es la resistencia de nicrom. Como se puede ver el rango de valores de potencia es de 133.94 W – 152.34W.

La variación -3.6273W/ [°C] significa que por cada grado de temperatura que aumenta, en grados centígrados el panel disminuye su potencia en -3.6273W.

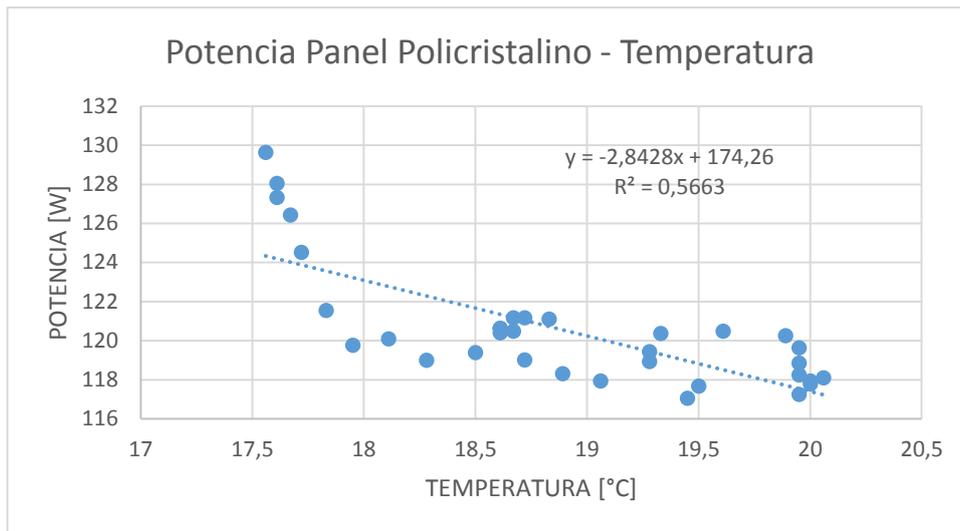


Figura 4-23 Máxima potencia panel policristalino en función de la temperatura ambiente [Elaboración propia].

En la Figura 4-23 se presenta la evolución de la máxima potencia del panel policristalino en función de la temperatura, esta potencia máxima se logra cuando la radiación solar tiene valores mayores a los 1000 W/m² (rango es de 1002-1076 W/m²), y cuando la carga de prueba es la resistencia de nicrom.

Como se puede ver el rango de valores de potencia es de 117.05 W – 129.63 W

La variación - 2,8428W/ [°C] significa que por cada grado de temperatura que aumenta, en grados centígrados el panel disminuye su potencia en -2,8428W.

4.6.3. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LA POTENCIA GENERADA POR PANEL MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO.

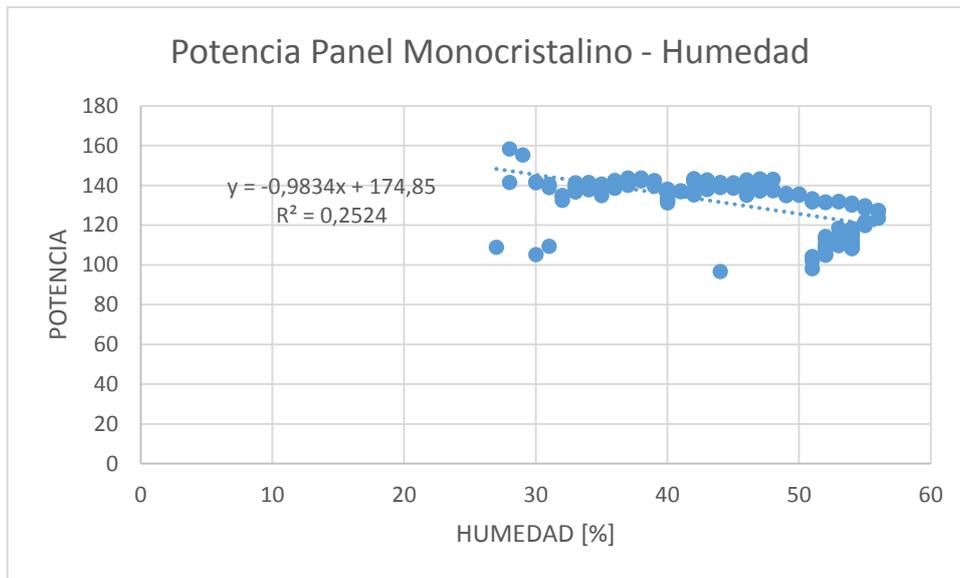


Figura 4-24 Potencia panel monocristalino en función de la humedad relativa [Elaboración propia].

En la Figura 4-24 se presenta la evolución de la potencia del panel monocristalino en función de la humedad, esta potencia se logra cuando la radiación solar tiene valores entre 600-1000 W/m²), y cuando la carga de prueba es la resistencia de nicrom.

Como se puede ver el rango de valores de potencia es de 96,67W - 158,19W

La variación -0,9925W/ [%] significa que por cada unidad de variabilidad de humedad que aumenta, el panel disminuye su potencia en -0,9925W.

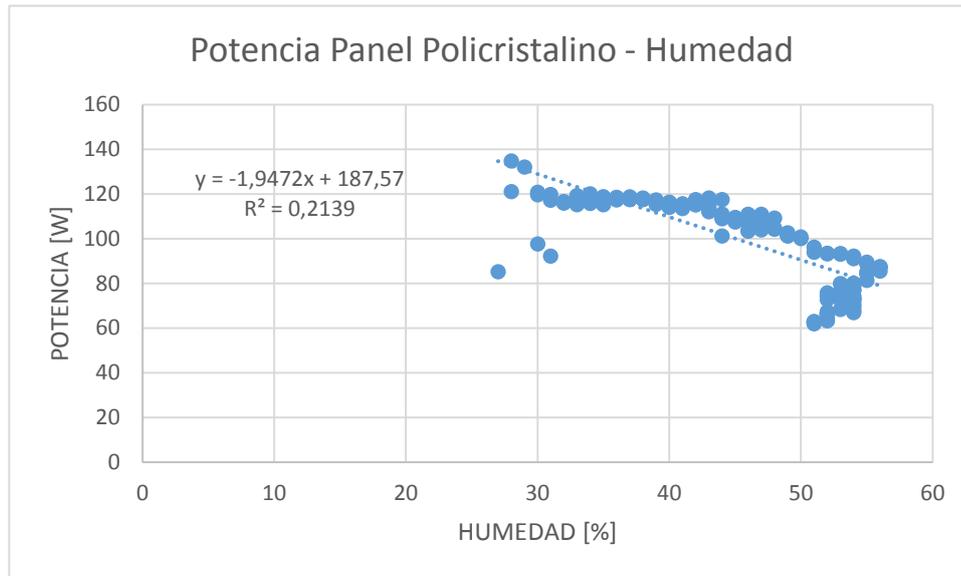


Figura 4-25 Potencia panel policristalino en función de la humedad relativa [Elaboración propia].

En Figura 4-25 se presenta la evolución de la potencia del panel policristalino en función de la humedad, esta potencia se logra cuando la radiación solar tiene valores entre 600-1000 W/m²), y cuando la carga de prueba es la resistencia de nicrom.

Como se puede ver el rango de valores de potencia es de 61.94W – 134.76W

La variación -1,9472W/ [%] significa que por cada unidad de variabilidad de humedad que aumenta, el panel disminuye su potencia en -1,9472W.

Y como resultado obtenido en la influencia de estos tres parámetros en la influencia de la generación de potencia por paneles se muestra en la tabla.

Tabla 10 Variaciones de potencia con respecto a la radiación temperatura y humedad (con potencia mayor a 60 W) [Elaboración propia].

Panel	Carga	Radiación solar	Temperatura	Humedad
Monocristalino	nicrom	0.1105	-3.6273	-0.9925
Policristalino	nicrom	0.1845	-2.8428	-1.9472

Tabla 11 Coeficiente de Determinación de la potencia con la radiación, temperatura y humedad (con potencia mayor a 60 W) [Elaboración propia].

Panel	Carga	Radiación solar	Temperatura	Humedad
Monocristalino	nicrom	$R^2=0.6964$	$R^2=0.5832$	$R^2=0.2524$
Policristalino	nicrom	$R^2=0.7917$	$R^2=0.5663$	$R^2=0.2139$

Al inicio de estudio se trabajó con una carga de nicrom de 12 ohm y se obtuvo los siguientes coeficientes de determinación donde se puede ver que a potencias bajas que entrega el panel fotovoltaico no hay una buena relación entre las variables de potencia - radiación, temperatura y humedad.

Tabla 12 Coeficiente de Determinación de la potencia con la radiación, temperatura y humedad (con potencia menores a 60 W) [Elaboración propia].

Panel	Carga	Radiación solar	Temperatura	Humedad
Monocristalino	nicrom	$R^2=0.365$	$R^2=0.0932$	$R^2=0.02$
Policristalino	nicrom	$R^2=0.351$	$R^2=0.0276$	$R^2=0.04$

CAPITULO 5

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO DE MATERIALES					
Ítem	Detalle	Descripción	Cantidad	P/U (S/.)	Subtotal (S/.)
1	Componentes de Medición	Panel monocristalino	1	720.00	720.00
		Panel policristalino	1	710.00	710.00
		Estación Meteorológica Vantage pro 2	1	10000.00	10000.00
		Microprocesador-Raspberry pi 3	2	200.00	400.00
		Sensores de temperatura	4	25.00	100.00
		Sensor de Corriente ACS712 - 30AMP	4	30.00	120.00
		Multímetro con pinza para AC y DC	2	250.00	500.00
2	Componente de visualización Y de Implementación	Computadora ref. Laptop Lenovo Z480 i7 15.6" 1Tb	1	2,700.00	2,700.00
		cargas resistivas	4	10.00	40.00
		Cable THW #14, Rollo	2	150.00	300.00
		Canaleta de 30mm	10	8.00	80.00
		Caja de PBC, IP55 15X10	3	15.00	45.00
Total:					S/.15715.00
Presupuesto de Servicios					
Item	Detalle	Descripción	Cantidad	P/U (S/.)	Subtotal (S/.)
1	Componente de Medición	Software de captura de datos	1	600.00	600.00
		Software de concentrador de datos	1	600.00	600.00
		Construcción de Concentrador de Datos	1	300.00	300.00
		Instalación de Sensores	1	200.00	200.00
2	Componente de visualización	Instalación y Configuración de router, switch y Laptop	1	400.00	400.00
Total:					S/.4500.00

Presupuesto Total	S/.20250.00
-------------------	-------------

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema de adquisición de datos versátil, basado en microcontrolador, que tiene componentes de bajo costo, fácil operación y mantenimiento, para medir parámetros como voltaje de 0 – 40 V y corriente de 0 – 20 A.
- Se implementó el sistema de adquisición de datos y se logró obtener los datos de voltajes de 0-22.97 V del panel monocristalino y 0-22.33 V del panel policristalino y también se logró obtener corrientes de 0-8.56 A del panel monocristalino y 0-8.37 A del panel policristalino. Estos valores obtenidos por el sistema de adquisición de datos son coherentes con los datos medidos con instrumentos de medición.
- Se logró utilizar una carga electrónica y una resistiva de nicrom, estas cargas ayudaron a desarrollar el estudio. Con la carga resistiva se logró obtener valores mayores tanto en voltaje y corriente que entregan los paneles fotovoltaicos.
- Se logró la medición y determinación de las variables atmosféricas, como la radiación solar, temperatura y humedad.

Obteniendo el mayor promedio de radiación solar en el mes de octubre de 722.30 W/m² y la menor radiación solar promedio en mes de mayo con 444.91 W/m².

Con lo que se concluye que en la estación húmeda del año (meses de septiembre octubre y noviembre), la radiación es mayor y se comprueba que las bases teóricas de este parámetro se cumplen en este estudio.

Con mayor promedio de temperatura ambiente en el mes de octubre de 18.73°C y con un menor promedio temperatura ambiente en el mes julio de 15.57°C. Con lo que se concluye que en la estación húmeda del año (meses septiembre, octubre y

noviembre), la temperatura es mayor y se comprueba que las bases teóricas de este parámetro también se cumplen en este estudio.

Con mayor promedio de humedad relativa en el mes de mayo de 53.02 % y con un menor promedio de humedad relativa en el mes julio de 32.78%. Con lo que se concluye que en la estación seca del año (meses de abril y mayo), la humedad es mayor y se aprecia un caso especial ya que en estos meses debería ser menor la humedad y por tanto las bases teóricas de este parámetro en estos meses no se cumplen en este estudio.

- Se logró determinar que la temperatura tiene una influencia negativa en la generación de potencia, cuando el panel entrega potencias con valores que fluctúan de 96.67-158.19 W del panel monocristalino, donde se obtiene un coeficiente de determinación de $R^2=0.5832$, de este resultado analítico podemos afirmar que el ajuste de ambas variables es regular, en concreto 58.32% de la variabilidad de la variable potencia es explicado por el modelo de regresión y en tanto al panel policristalino cuando los valores de potencia fluctúan de 61.94-134.76 W se obtiene un coeficiente de determinación de $R^2=0.5663$, de este resultado analítico podemos afirmar que el ajuste de ambas variables es regular, en concreto 56.63% de la variabilidad de la variable potencia es explicado por el modelo de regresión.
- Se determina que la humedad no influye en la generación de potencia porque el coeficiente de determinación entre potencia – humedad es $R^2=0.2524$ y $R^2=0.2139$ tanto para el panel monocristalino y policristalino respectivamente.
- El panel monocristalino y el panel policristalino se comporta de forma equivalente en cuanto a la influencia de los parámetros climatológicos como la temperatura y humedad con la carga de nicrom.

- Se logró determinar la potencia de ambos paneles fotovoltaicos. Con potencia promedio de los meses de abril, mayo, junio y julio obteniendo valores de 39.02W y 37.46 W del panel monocristalino y policristalino respectivamente y esto con una carga electrónica y a una irradiancia promedio de 544.32 W/m², siendo el panel monocristalino que genera mayor potencia durante los meses abril, junio y julio.
- Se logró determinar la potencia de ambos paneles fotovoltaicos. Con potencia promedio de los agosto, septiembre, octubre y noviembre obteniendo valores de 30.19W y 29.58W del panel monocristalino y policristalino respectivamente con la carga nicrom y a una irradiancia promedio de 678.31W/m², siendo el panel monocristalino que genera mayor potencia durante estos 4 meses.
- Se logró determinar la potencia de ambos paneles fotovoltaicos. Con potencia promedio 131.06 W y 101.00 W del panel monocristalino y policristalino respectivamente con la carga nicrom y con una irradiancia promedio de 872 W/m² durante el 21 de abril del 2018.
- Se determinó la eficiencia de ambos paneles. Siendo de mayor eficiencia del panel monocristalino con 18.40 % de eficiencia y 15.67% de eficiencia del panel policristalino. Estas eficiencias son debido a la composición interna de los paneles que solo convierten el 18.4% y 15.67% de la luz del sol en energía eléctrica.

La eficiencia que se determinó en condiciones reales de instalación, no difieren mucho con las especificaciones de los paneles. Aunque se comprueba que la tecnología fotovoltaica de tipo monocristalino es más eficiente y se aprecia que esta alrededor del 0.12% por debajo de la especificación del fabricante. El mismo caso sucede con la eficiencia de la tecnología fotovoltaica del tipo policristalino, la cual está 1.69% por debajo de las especificaciones del fabricante.

- Se determinó la potencia de los paneles fotovoltaicos haciendo uso de la ley de ohm, se comparó y analizó mediante cuadros comparativos y haciendo uso de las herramientas de la estadística, obteniendo que el panel monocristalino supera en 30.06 W promedio al policristalino durante el día 21 de abril del 2018 a una irradiancia promedio de 872 W/m², una temperatura promedio de 16.77°C y una humedad de 44.61%.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer el estudio de la potencia generada de los ambos paneles fotovoltaicos en las regiones de costa y selva.

Se recomienda considerar la nubosidad de los días puesto que ellos afectan la cantidad de energía generada por los paneles.

Se recomienda realizar este estudio implementando un seguidor solar a los paneles fotovoltaicos.

El sistema desarrollado puede ser usado para medir características técnicas de paneles fotovoltaicos sin hoja de datos (sin Datasheet).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Z. Pacheco, Radiacion Solar en Cusco, Lima: guzlop, 2012.
- [2] O. P. Lamigueiro, ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica, España: España de Creative Commons, Marzo de 2015.
- [3] S. I. Y. Piriz, «ENERGIA SOLAR TERMICA Y FOTOVOLTAICA AISLADA PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES EN EL PERU,» Lima, 2013.
- [4] D. M. Díaz, « ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE TRES TECNOLOGÍAS DIFERENTES..pdf,» UNIVERSIDAD CARLO III DE MADRID, MADRID ESPAÑA, 2011.
- [5] D. A. G. P. Jesus Roberto gonzales Aguilera, «DESARROLLO DE SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS DE UN SIMULADOR SOLAR PARA EVALUACION DE PANELES FOTOVOLTAICOS,» Jovenes en la Ciencia, Campus Irapuato - Salamanca, Universidad de Guanajuato, 2015.
- [6] S. Carrillo Segura, «VIABILIDAD DE LA GENERACION DE LOS EDIFICIOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELECTRICA - CUSCO,» Ingenieria Electrica - Unsaac, Cusco, 2010.
- [7] J. R. Alvarez Alvaro, «ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DEL MÓDULO DEL SISTEMA DE POTENCIA PARA EL NANO-SATÉLITE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO,» Ingenieria Electrónica, Cusco, 2015.
- [8] N. Flores Rivera y M. A. Dominguez Ramirez, «MEDICION DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE LOS PANELES SOLARES DE SILICIO,» Puebla-Mexico, 2015.
- [9] M. d. V. Jiménez S., «ESTUDIO Y PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICA.pdf (Tesis de Pregrado),» Mérida-Venezuela, 2008.
- [10] R. A. Alvarez Lopez y M. A. Garcia Angarita, «PARAMETROS COMPARATIVOS DE CELULAS FOTOELECTRICAS PARA GENERACION DE ENERGIA: IMPLMENTACION DE BANCO DE PRUEBAS USANDO DSP,» *Ingenieria Energetica*, vol. XXXV, nº 3, p. 194, 2014.
- [11] K. Jäger, O. Isabella, A. H. M. Smets, R. A.C.M.M. van Swaaij y M. Zeman, SOLAR ENERGY FUNDAMENTALS, TECHNOLOGY, AND SYSTEMS, Holanda: Delft University of Technology,, 2014.
- [12] G. M. Masters, RENEWABLE AND EFFICIENT ELECTRIC POWER SYSTEMS, Estados Unidos: wiley-interscience, 2004.
- [13] J. Stefani, «CAPITULO I.IV LA MASA DE AIRE - CENIT Y STC [Archivo de video],» 28 07 2014. [En línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=JoWlVJrsxM>. [Último acceso: 22 11 2016].
- [14] «progclass.files.wordpress,» [En línea]. Disponible: <https://progclass.files.wordpress.com/2011/10/generador-fotovoltaico.pdf>.
- [15] R. Pallás Areny, ADQUISICION Y DISTRIBUCION DE SEÑALES, Barcelona: Marcombo, 1993.

- [16] N. O. J. M. Kusterer, «EARTH DATA,» [En línea]. Disponible: <https://eosweb.larc.nasa.gov/order-data>. [Último acceso: 15 marzo 2017].
- [17] M. Carmona, J. Bosch, J. M. Gomez y M. Lopez, INSTRUMENTACION ELECTRONICA AVANZADA, Barcelona: Departamento de Electornica, Universidad de Barcelona, 2012.
- [18] «Raspberry Pi Hardware Guide,» [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.org/learning/hardware-guide/components/raspberry-pi/>. [Último acceso: 09 19 2017].
- [19] «prometec,» [En línea]. Disponible: <https://www.prometec.net/rpi-gpio/#>. [Último acceso: 19 09 2017].
- [20] J. Barbosa Urbano, «ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE VARIABLES FOTOVOLTAICOS DE DOS SISTEMAS DE PANELES SOLARES(MONOCRISTALINO Y POLICIRISTALINO) EN BOGOTÁ,» Universidad Sergio Arboleda Escuela de Postgrado, Bogot'a- Colombia, 2013.
- [21] Batery Company, «Baterias AGM,» Trojan Baterry Company Clean energy for lif, 2016. [En línea]. Disponible: http://www.trojanbattery.com/pdf/TRJN_PLC_AGM_SP-MX.pdf. [Último acceso: 19 09 2017].
- [22] «Trojan,» 2016. [En línea]. Disponible: http://www.trojanbattery.com/pdf/TRJN_PLC_GEL_SP-MX.pdf. [Último acceso: 19 09 2017].
- [23] M. F. Contreras Morocho, «DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MEDICION, MONITOREO Y CONTROL DE CARGA ELECTRICA PARA APLICACIONES DOMESTICAS,» La Universidad Politecnica Saieciana, Cuenca -Ecuador, 2015.
- [24] J. Santamarta, «REVE (Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico),» reve, 2009. [En línea]. Disponible: <https://www.evwind.com/2010/06/05/los-diez-mayores-fabricantes-de-energia-solar-fotovoltaica/>. [Último acceso: 10 08 2017].
- [25] ENF Ltd., «ENFSOLAR,» ENF Acelerando la Industria, [En línea]. Disponible: <https://es.enfsolar.com/directory/panel>. [Último acceso: 20 08 2017].
- [26] J. A. Alonso Lorenzo, «Boletin Solar Fotovoltaica Autonoma SunFields Europe,» Profesionales distribuidores desde el año 2007. [En línea]. Disponible: www.sfe-solar.com. [Último acceso: 03 01 2017].
- [27] «Mono Solar,» [En línea]. Disponible: https://www.monsolar.com/pdf/regulador_solar_steca_tarom_4545-48_manual_usuario.pdf.
- [28] «User´s Manual,» [En línea]. Disponible: <http://www.mppsolar.com/manual/HYBRID%20V/Hybrid%20V%20series%20manual%2020160517B.pdf>.
- [29] D. Instruments, «DAVIS,» [En línea]. Disponible: <https://www.davisinstruments.com/weather-monitoring/#resellers>.

ANEXO 1 DESARROLLO DE LOS CODIGOS DE PROGRAMACION

1.1. CODIGO EN EL LENGUAJE C PARA MICROCONTROLADOR 16F877A

```
////////////////////////////////////
//
// VOLTAJE- CORRIENTE DE PANELES DE 160W MONOCRISTALINO Y 150W POLICRISTALINO
//
// LECTURA DE ADC - RECEPCION - TRANSMISIÓN POR RS232 CON PIC 16f877A //
//
////////////////////////////////////

#include <16F877a.h>
#define ADC = 10 //Configuracion para 10 bit
#define HS,NOWDT
#define delay(clock=20M) //Frecuencia del reloj
#define USE_STANDARD_IO (a) //entradas y salidas de puertos
#define USE_STANDARD_IO (c)
#define USE_STANDARD_IO (d)
#define USE_STANDARD_IO (e)

#define LCD_DB4 PIN_D4
#define LCD_DB5 PIN_D5
#define LCD_DB6 PIN_D6
#define LCD_DB7 PIN_D7
#define LCD_RS PIN_D2
#define LCD_E PIN_D3
#include <lcd1.c>
//#include <stdio.h> // biblioteca de varias funciones,operaciones estándar de entrada y
salida.

#define rs232(baud=9600, xmit=pin_c6, rcv=pin_c7,bits=8,parity=N)

char cadena[49];
```

```

char r;

float32 vMono1,vPoly1,cMono1,cPoly1;

float32 vMono2,vPoly2,cMono2,cPoly2;

int x=0;

float conversion (int canal);          //definicion de funcion conversion AD
void v_c_paneles();                    //definicion de funcion voltaje y corriente de paneles
void mostrar_lcd();                    //definicion de funcion mostrar en el display lcd
void enviar_caracteres();              //definicion de funcion enviar datos por rs232

#INT_RDA

void rda_isr() {

if(kbhit()){
    r=getc();
}
}

/*****
**/

/***** FUNCIÓN PRINCIPAL *****/

void main () {

    lcd_init();                        //Inicialización del display
    enable_interrupts(INT_RDA);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG );      //Canal de entrada analógico A0 A1 A2 A3 A5 E0 E1 E2
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);     //Fuente de reloj RC

```

```

while(TRUE){
v_c_paneles();
mostrar_lcd();
enviar_caracteres();

}
}

//obtiene valores de voltaje y corriente de los paneles
void v_c_paneles(){

vMono1=8.00*conversion(0); // voltaje a 40 voltios
vPoly1=8.00*conversion(1);

cMono1=(conversion(4)-2.488)/0.1;// sensibilidad calibrada=v2-v1/I1-I2
cPoly1=(conversion(5)-2.488)/0.1;

vMono2=8.00*conversion(2); // voltaje a 40 voltios
vPoly2=8.00*conversion(3);

cMono2=(conversion(6)-2.488)/0.1;// sensibilidad calibrada=v2-v1/I1-I2
cPoly2=(conversion(7)-2.488)/0.1;
}

//Muestra por el lcd los valores analogicos de voltaje y corriente de los paneles
void mostrar_lcd(){
//Muestra por el LCD los valores digital y analógico de la lectura AD
printf(lcd_putc,"\f");
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc, "vM1=%2.2f cM1=%2.2f", vMono1,cMono1);
lcd_gotoxy(1,2);

```

```

printf(lcd_putc, "vP1=%2.2f cP1=%2.2f",vPoly1,cPoly1);
lcd_gotoxy(21,1);
printf(lcd_putc, "vM2=%2.2f cM2=%2.2f",vMono2,cMono2);
lcd_gotoxy(21,2);
printf(lcd_putc, "vP2=%2.2f cP2=%2.2f",vPoly2,cPoly2);
}

//envia trama de datos de voltaje y corriente por rs232 al raspberri pi
void enviar_caracteres(){

    if(r=='k'){

        sprintf(cadena,"%2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f %2.2f",vMono1,vPoly1,vMono2,vPoly2,cMono1,cPoly1,cMono2,cPoly2); //Paso a string el
valor float

        // printf("%d",sizeof(cadena));

        //Envío por RS232 del valor float como string
        for (x=0;x<=49;++x){ //son 49 caracteres espacios \n\r
            putc(cadena[x]);

        }

        putc(10);
        putc(13);

        r=0; //borrar el buffer
    }
}

//lee,convierte y devuelve los valores del adc
float conversion (int canal){ //funcion conversion analogico digital

    int i;

    int16 adc;

    float dato=0,valor;

```

```

for(i=0;i<250;i++){
    SET_ADC_CHANNEL(canal);
    delay_us(20);
    adc=READ_ADC();      //Lectura del valor analogico
    dato+=adc*5.0/1023.0; //Valor analógico de la lectura
}
valor=(dato/250);

return valor;
}

```

1.2. CODIGO EN PYTHON PARA LA RABERRY PI 3 – PARAMETROS ELECTRICOS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.

```

#!/usr/env python
#-*- coding: utf-8 -*-
#Raspberry Pi - Voltimetro-PIC16f877A
# Este código lee los valores del Panel conectada al puerto serie.
# Los siguientes datos se suben a PhpMyAdmin
# Base de Datos: PANELES
# Tabla
# vPanel_M
# vPanel_P
# cPanel_M
# cPanel_P
# pPanel_M
# pPanel_P

import MySQLdb
    #Paquete para conectarse a una Base de Datos MySQL con python

import serial
    #Paquete para la comunicacion serial

```

```

from time import sleep, strftime, localtime, time          #Modulo de tiempo y calendario

# Configuracion de parametros para la base de datos
#DBhost = "127.0.0.1" #para windows
DBhost = "localhost"
DBpass = "1234"
DBuser = "root"
DBport = "3306"
DBdb = "PANELES"
DBtable = "voltajes_corrientes"

#Configuracion de parametros para la transmision serial
#stport ='COM7' # para Windows
stport='/dev/ttyUSB2'
stbaud = 9600
bytesize= 8
parity = serial.PARITY_NONE
stopbits= 1

#Funcion para obtener los valores que nos envia el Microcontrolador 16F877a
def getData():
    global vPanel_M,vPanel_P,cPanel_M, cPanel_P,pPanel_M,pPanel_P
    ser = serial.Serial(stport, stbaud,bytesize,parity,stopbits)
    enviar=ser.write('k')
    trama = ser.readline()

    tramaseparada=trama.split(' ')

    vPanel_M=tramaseparada[0].strip()[1:]
    vPanel_P=tramaseparada[1]
    cPanel_M=tramaseparada[2]

```



```

        conn.commit()

except:
    print "... insert ERROR"
    connDB()
    pass

# Funcion para obtener datos cada segundo
def checktime(sec):

    while True:
        res = round(time()%sec)
        if res==0.0:

            getData()
            insertDB()

            sleep(0.4)

connDB()

while True:
    checktime(60)

```

1.3. CODIGO EN PYTHON PARA LA RAPBERRY PI 3 – PARAMETROS METEOROLOGICOS.

```

# Este código lee los valores de la estación davis conectada al puerto serie.
# Los siguientes datos se suben a cediter.com
#DataBase: sisestacion
    # Tabla
        #humedad

```

```
#lluvia
#radiacion
#temperatura
#ultravioleta
#viento
#presion
```

```
# Paquetes para puerto serie y conexión a un base de datos MySQL
```

```
import serial
```

```
import MySQLdb
```

```
##Modulo de tiempo y calendario
```

```
from time import sleep, strftime, localtime, time
```

```
#####
```

```
idStation = 1
```

```
#####
```

```
# Configuracion de parametros para la base de datos
```

```
DBhost = "cediter.com"
```

```
DBpass = "some_pass"
```

```
DBuser = "phpmyadmin"
```

```
DBport = "3306"
```

```
DBdb = "sisestacion"
```

```
DBOutTemp= "temperatura"
```

```
DBOutHumidity= "humedad"
```

```
DBRain= "lluvia"
```

```
DBSolarRad= "radiacion"
```

```
DBUV= "ultravioleta"
```

```
DBWind = "viento"
```

```
DBPreasure= "presion"
```

```
#Configuracion de parametros para la transmision serial
```

```
stport = '/dev/ttyUSB0'
```

```
stbaud = 19200
```

```
sttimeout = 1.0
```

```
stcommand = 'LOOP 1\r'
```

```
#Indice de datos de acuerdo con el protocolo de Davis
```

```
iBarometer = [ 8, 7]
```

```
iOutTemp = [13,12]
```

```
iWindSpeed = [14]
```

```
iWindDirecction = [17,16]
```

```
iRainRate = [42,41]
```

```
iUV = [43]
```

```
iSolarRadiation = [45,44]
```

```
iRainDay = [51,50]
```

```
iForecast = [90,89]
```

```
iOutHumidity = [33]
```

```
ser = serial.Serial(stport, stbaud, timeout=sttimeout)
```

```
#Funcion para convertir de la trama de datos en un valor entero
```

```
def converter(frame,index):
```

```
    result = 0
```

```
    for i in index:
```

```
        result = result*256+ ord(frame[i])
```

```
    return result
```

```
#Funcion para convertir fahrenheit a celcius
```

```
def far2cel(far):
```

```
    return (far-32)*0.5556
```

```
#Funcion para convertir pulgadas a metros
```

```
def in2mm(val):
```

```
    return val*0.0254
```

```
#Funcion para convertir horas a segundos
```

```
def mh2ms(val):
```

```
    return val*0.447
```

```
#Funcion para la conexion a la base de datos
```

```
def connDB():
```

```
    global conn
```

```
    global cur
```

```
    conn = MySQLdb.connect(DBhost,DBuser,DBpass,DBdb)
```

```
    cur = conn.cursor()
```

```
    print "...DB connected"
```

```
#Funcion que ayuda para insertar valores
```

```
def executeDB(query):
```

```
    global conn
```

```
    global cur
```

```
    print query
```

```
    cur.execute(query)
```

```
    conn.commit()
```

```

# Funcion para insertar valores en nuestra tabla de la base de datos
def insertDB():
    global Temp
    global Humidity
    global Barometer
    global WindDirection
    global WindSpeed
    global UV
    global SolarRadiation
    global RainRate
    global conn
    global cur

    fecha = strftime('%Y-%m-%d',localtime())
    hora = strftime('%H:%M:%S',localtime())

    # Viento Tabla
        #idstacion
        #fechahora
        #viento
        #direccion

    c_insert="""
INSERT INTO %s(idestacion, fechahora,viento,direccion)
VALUES('%d','%s %s','%2.2f','%d')
"""%(DBWind,idStation,fecha,hora,WindSpeed,WindDirection)

    executeDB(c_insert)

    # Temperatura Tabla
        #idstacion
        #fechahora

```

```

#temperatura
c_insert=""
INSERT INTO %s(idestacion, fechahora,temperatura)
VALUES('%d','%s %s','%2.2f')
""""%(DBOutTemp,idStation,fecha,hora,Temp)
executeDB(c_insert)

```

```

# Lluvia Tabla
#idstacion
#fechahora
#lluvia
c_insert=""
INSERT INTO %s(idestacion, fechahora,lluvia)
VALUES('%d','%s %s','%2.2f')
""""%(DBRain,idStation,fecha,hora,RainRate)
executeDB(c_insert)

```

```

# Radiacion solar Tabla
#idstacion
#fechahora
#radiacion
c_insert=""
INSERT INTO %s(idestacion, fechahora,radiacion)
VALUES('%d','%s %s','%2.2f')
""""%(DBSolarRad,idStation,fecha,hora,SolarRadiation)
executeDB(c_insert)

```

```

# UV Tabla
#idstacion

```

```

        #fechahora
        #ultravioleta
c_insert=""
INSERT INTO %s(idestacion, fechahora,ultravioleta)
VALUES('%d','%s %s','%2.2f')
""""%(DBUV,idStation,fecha,hora,UV)
executeDB(c_insert)

```

```

# Presion Tabla
        #idstacion
        #fechahora
        #presion
c_insert=""
INSERT INTO %s(idestacion, fechahora,presion)
VALUES('%d','%s %s','%2.2f')
""""%(DBPressure,idStation,fecha,hora,Barometer)
executeDB(c_insert)

```

```

# Humedad Tabla
        #idstacion
        #fechahora
        #humedad
c_insert=""
INSERT INTO %s(idestacion, fechahora,humedad)
VALUES('%d','%s %s','%2.2f')
""""%(DBOutHumidity,idStation,fecha,hora,Humidity)
executeDB(c_insert)

```

#Funcion para obtener los valores de davis

```
def getData():
```

```
    global ser
```

```

global Temp
global Humidity
global Barometer
global WindDirection
global WindSpeed
global UV
global SolarRadiation
global RainRate

ser.write(stcommand) # Escribe el comando para pedir datos
data = ser.read(150) # Espera al menos 150 bytes
data = data[1:]      # elimina byte ocultos
print data
Temp = far2cel(converter(data,iOutTemp)/10.0)
Humidity = converter(data,iOutHumidity)
Barometer = in2mm(converter(data,iBarometer))
WindSpeed = mh2ms(converter(data,iWindSpeed))
WindDirection = converter(data,iWindDirecction)
UV = converter(data,iUV)/10.0
SolarRadiation = converter(data,iSolarRadiation)
RainRate = converter(data,iRainRate)

```

Funcion para obtener datos cada segundo

```
def checktime(sec):
```

```

    while True:
        res = round(time()%sec)
        if res==0.0:
            getData()
            insertDB()
            sleep(0.2)

```

```
connDB()
```

```
while True:
```

```
    checktime(60)
```

1.4. CODIGO EN PHP PARA LAS GRAFICAS DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS Y METEREOLÓGICOS.

```
#DATOS.PHP // nombre del archivo
```

```
<?php
```

```
#-----#
```

```
# Este código obtiene los valores de la Base de Datos para Graficar #
```

```
#-----#
```

```
#Definicion de Variables para hacer conexion con la base de datos
```

```
$user = "phpmyadmin";
```

```
$pass = "some_pass";
```

```
$host = "cediter.com";
```

```
$db = "sisestacion";
```

```
$table1 = "temperatura";
```

```
//////////base de datos SISESTACION RADIACION TEMPERATURA HUMEDAD//////////
```

```
$sql1="SELECT fechahora as date1, temperatura as y1 FROM $table1 WHERE fechahora >= '2017-04-01 00:00:00' and fechahora <= '2017-04-31 00:00:00' and idestacion='1'";
```

```
//////////base de datos PANELES_VOLTAJES_CORRIENTES//////////
```

```
//$sql1="SELECT fecha as date1, pPanel_M as y1 FROM $table1 WHERE fecha >= '2018-04-01' and fecha <= '2018-04-31'";
```

```
#atrapa las intrucciones para su ejecucion
```

```
try {
```

```
    header('Content-Type: application/json');
```

```

# PDO interfaz ligera para poder acceder a bases de datos
$conexion=new PDO("mysql:host=$host;dbname=$db",$user,$pass);

$stmtement1=$conexion->prepare($sql1);

$stmtement1->execute();

# fetchAll Devuelve conjunto de resultados en un array
$results1=$stmtement1->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);

# json devuelve caracteres
$json=json_encode($results1);

print $json;
}

#atrapa excepciones para no bloquearse
catch (Exception $e) {
    #echo "error al conectar en la base datos";
    die('Error: '. $e->getMessage());
}

?>

#INDEX.PHP

<!--Libreria AmCharts-->

<!--Biblioteca de programación para todos necesidades de visualización de datos.-->

<!-- Atributos de tamaño tipo de fuente -->
<div id="chartdiv" style="width: 100%; height: 600px;" ></div>
<meta charset="UTF-8">

```

<!-- Atributos src (URL de un archivo de script externo) -->

```
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/amcharts.js"
type="text/javascript"></script>
```

```
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/serial.js"
type="text/javascript"></script>
```

```
<script
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/plugins/responsive/responsive.min.js" type="text/javascript"></script>
```

```
<script
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/plugins/dataloader/dataloader.min.js" type="text/javascript"></script>
```

```
<script
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/plugins/export/export.min.js"
type="text/javascript"></script>
```

```
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/plugins/export/lang/es.js"
type="text/javascript"></script>
```

```
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/lang/es.js"
type="text/javascript"></script>
```

```
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/themes/light.js"
type="text/javascript"></script>
```

```
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/themes/dark.js"
type="text/javascript"></script>
```

```
<link rel="stylesheet"
href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/amcharts/3.21.5/plugins/export/export.css">
```

<!-- Código de amCharts javascript -->

<!-- Parametros para configurar el entorno visualización -->

```
<script type="text/javascript">
```

```
var chart = AmCharts.makeChart("chartdiv",
```

```
{
  "type": "serial",
```

```

"dataLoader":
{
    "url": "http://localhost:8080/reporte_amchart/datos4.php", //aquí va la ruta a donde
esta el script que saca los datos de la BD...en tu caso datos.php
    "format": "json",
    "showCurtain": false
},
"categoryField": "date1",
"autoMarginOffset": 40,
"dataDateFormat": "YYYY-MM-DD JJ:NN:SS",
"marginRight": 60,
"marginTop": 60,
"fontSize": 13,
"legend": {
    "equalWidths": false,
    //"periodValueText": "PROMEDIO RADIACION SOLAR: [[value.sum]] [W/m2]",
    "position": "top",
    "valueAlign": "left",
    "valueWidth": 50
},
"categoryAxis": {
    "title": "TIEMPO",
    "minPeriod": "60ss",
    "parseDates": true,
    "startOnAxis": true,
    "dateFormats": [
        {
            "period": "fff",
            "format": "JJ:NN:SS"},
        {
            "period": "ss",

```

```

    "format": "JJ:NN:SS"},
    {
      "period": "mm",
      "format": "JJ:NN"},
    {
      "period": "hh",
      "format": "JJ:NN"},
    {
      "period": "DD",
      "format": "DD/MM/YYYY"}, //you may need to change the entries for 'WW' and
'MM'
    {
      "period": "WW",
      "format": "MMM DD"},
    {
      "period": "MM",
      "format": "MMM"},
    {
      "period": "YYYY",
      "format": "YYYY"
    }
  ],
},
"chartCursor": {
  "enabled": true,
  "categoryBalloonDateFormat": "DD-MM-YYYY JJ:NN:SS"
},
"chartScrollbar": {
  "enabled": true
},
"trendLines": [],

```

```

"graphs": [
  {
    "lineColor": "#FF8000", // humedad #00BFFF, temperatura #2EFE2E, radiacion
#FF8000
    "bullet": "none",
    "fillAlphas": 0.3,
    "bulletBorderAlpha": 1,
    "bulletBorderThickness": 1,
    "bulletSize": 1,
    "id": "AmGraph-1",
    "lineThickness": 2,
    "title": "RADIACION SOLAR[W/m2]:",
    // "title": "TEMPERATURA AMBIENTE [°C]:",
    // "title": "HUMEDAD[%]:",
    "valueField": "y1",
    "connect": false
  }
  /*{
    "bullet": "none",
    "fillAlphas": 0.3,
    "bulletBorderAlpha": 1,
    "bulletBorderThickness": 1,
    "bulletSize": 1,
    "id": "AmGraph-1",
    "lineThickness": 2,
    "title": "POTENCIA MONOCRISTALINO [W]",
    "valueField": "y1",
    "connect": false
  },
  {
    "bullet": "none",

```

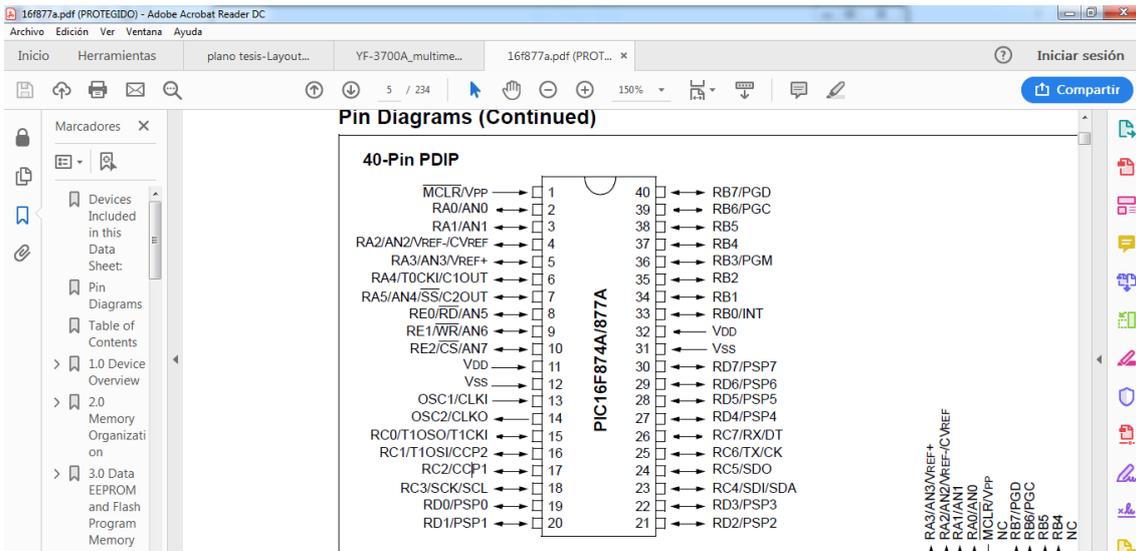
```

        "fillAlphas": 0.3,
        "bulletBorderAlpha": 1,
        "bulletBorderThickness": 1,
        "bulletSize": 1,
        "id": "AmGraph-2",
        "lineThickness": 2,
        "title": "POTENCIA POLICRISTALINO [W]",
        "valueField": "y2",
        "connect": false
    }*/],
    "guides": [],
    "export": {
        "enabled": true,
        "fileName": "datos4"
    },
    "valueAxes": [
        {
            // "id": "ValueAxis-1",
            "title": "POTENCIA [W]"
        }
    ],
    "allLabels": [],
    "balloon": {},
    "titles": []
}
);
</script>

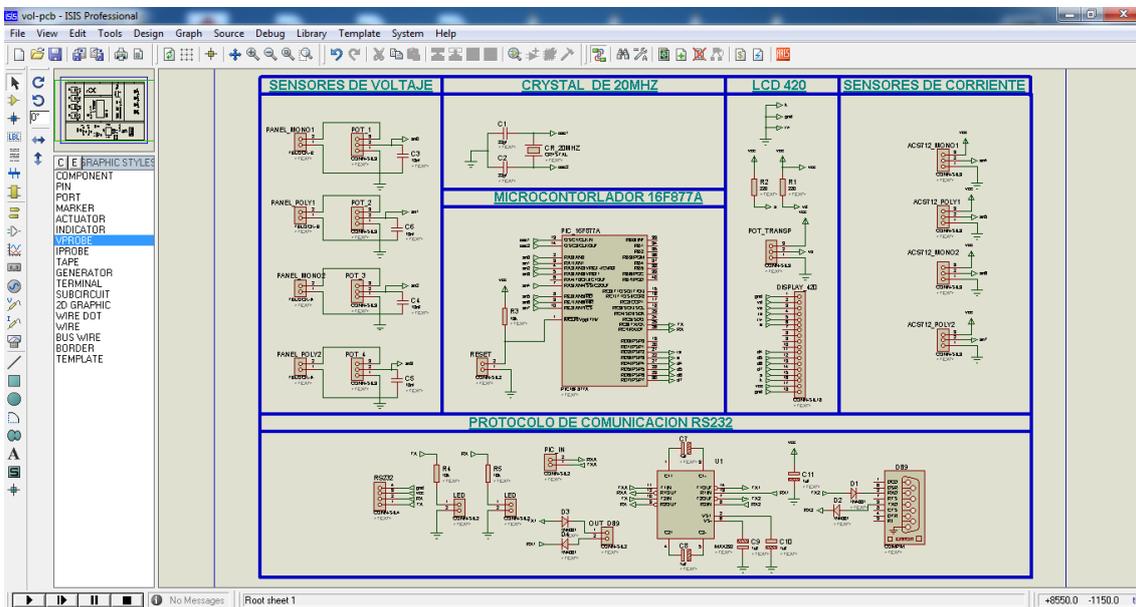
```

ANEXO 2 DESARROLLO DEL SISTEMA DE ADQUISICION

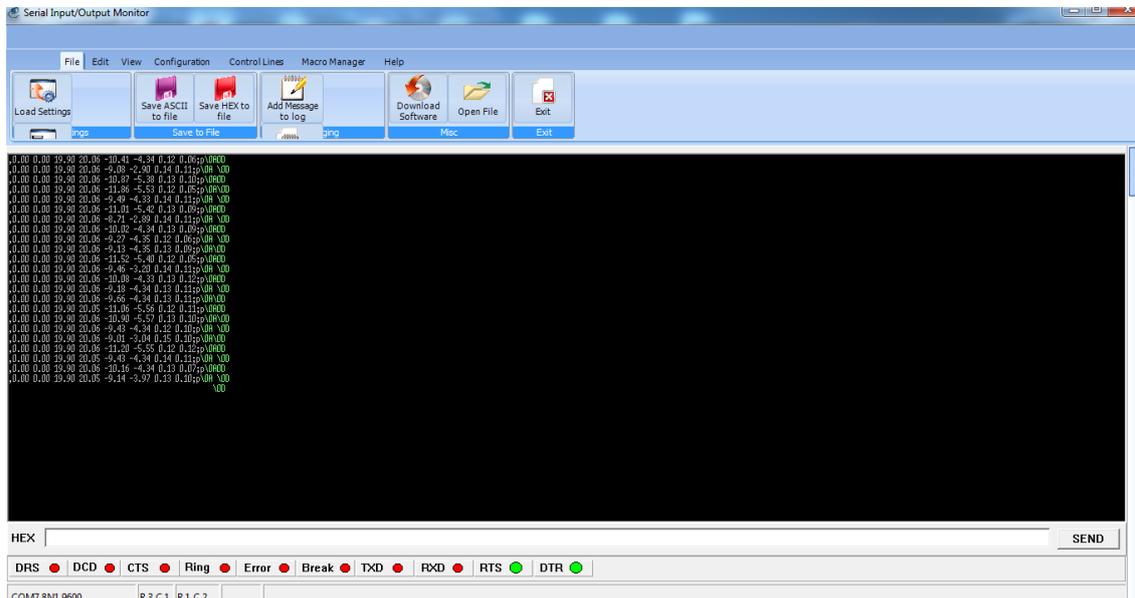
2.1. PINES DE MICROCONTROLADOR UTILIZADO



2.2. DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO PARA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

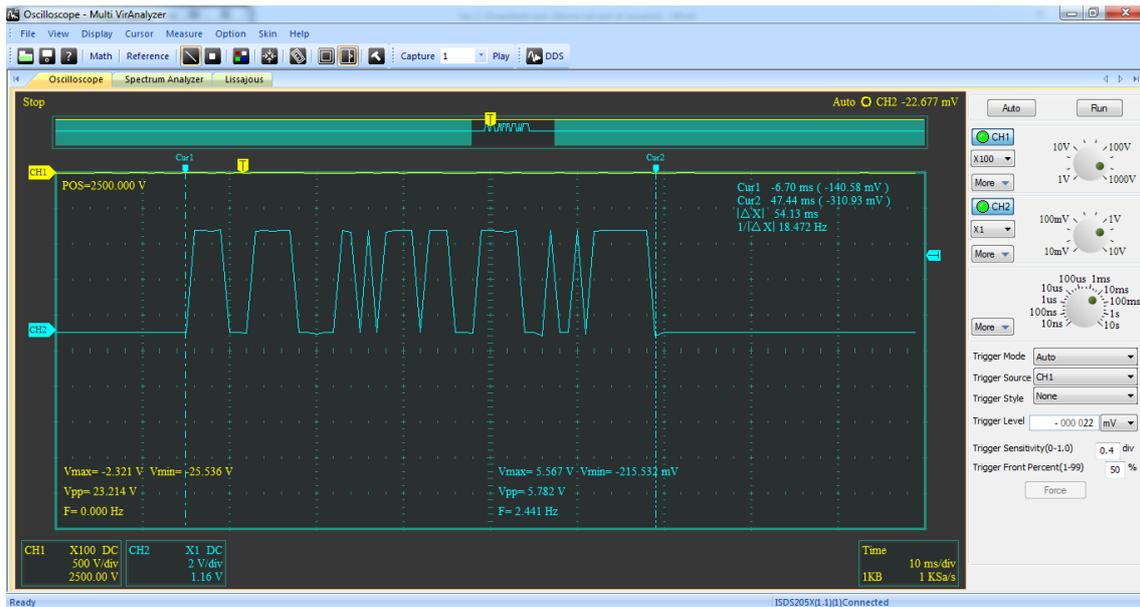


2.5. PRUEBAS REALIZADAS DE LA COMUNICACIÓN Y TRASMISION DE LA TRAMA DE DATOS DEL PIC A LA PC POR EL PUERTO SERIAL.



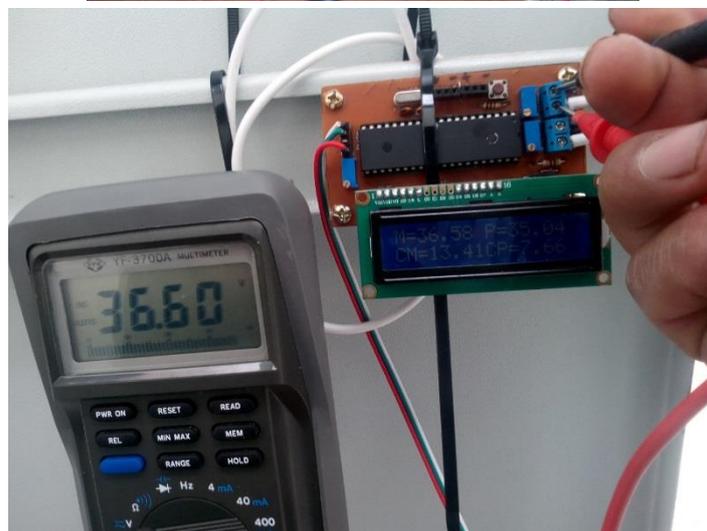
2.6. ENVIÓ DE LA TRAMA DE DATOS EN UN OSCILOSCOPIO TRAMA DE DATOS





La marca de osciloscopio es INSTRUSTAR. Estas capturas se realizaron en la plataforma MULTI VIRANALYZER aplicacion que esta instalada en una lapto.

2.7. PRUEBA Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS



2.8. EJECUCION DE LOS PROGRAMAS DE PYTHON EN LA PLATAFORMA MOBAXTERM PERSONAL EDITION PARA LA TOMA DE DATOS EN LA BASE DE DATOS.

```

pi@raspberrypi:~$ sudo python controlador_temp.py &
[4] 1847
pi@raspberrypi:~$ ...DB connected

pi@raspberrypi:~$ ps aux|grep py
nobody 626 0.0 0.1 2292 1464 ? Ss may20 0:16 /usr/sbin/thd --daemon --triggers /etc/triggers/triggers.d/ --socket /var/r
un/thd.socket --pidfile /var/run/thd.pid --user nobody /dev/input/event*
root 948 0.0 0.3 7020 3132 pts/2 S 15:23 0:00 sudo python paneles_275w.py
root 952 1.4 0.9 24496 8936 pts/2 S 15:23 2:28 python paneles_275w.py
root 1302 0.0 0.3 7020 3884 pts/2 S 16:05 0:00 sudo python volt_corr_t temp.py
root 1306 1.4 0.9 24488 8848 pts/2 S 16:05 1:42 python volt_corr_t temp.py
root 1526 0.0 0.1 6036 1780 ? S may20 0:00 /usr/bin/xprop -root -spy
pi 1649 0.0 0.3 7020 3084 ? S may20 0:00 sudo python temp_panel.py
root 1653 0.3 0.8 23764 8184 ? S may20 14:02 python temp_panel.py
root 1847 0.0 0.3 7020 3132 pts/2 S 17:57 0:00 sudo python controlador_temp.py
root 1851 0.3 0.9 24484 8828 pts/2 S 17:57 0:01 python controlador_temp.py
pi 1863 0.0 0.1 4616 1788 pts/2 S+ 18:01 0:00 grep --color=auto py

pi@raspberrypi:~$ ps aux|grep py
nobody 626 0.0 0.1 2292 1464 ? Ss may20 0:16 /usr/sbin/thd --daemon --triggers /etc/triggers/triggers.d/ --socket /var/r
un/thd.socket --pidfile /var/run/thd.pid --user nobody /dev/input/event*
root 948 0.0 0.3 7020 3132 pts/2 S 15:23 0:00 sudo python paneles_275w.py
root 952 1.4 0.9 24496 8936 pts/2 S 15:23 2:28 python paneles_275w.py
root 1302 0.0 0.3 7020 3884 pts/2 S 16:05 0:00 sudo python volt_corr_t temp.py
root 1306 1.4 0.9 24488 8848 pts/2 S 16:05 1:42 python volt_corr_t temp.py
root 1526 0.0 0.1 6036 1780 ? S may20 0:00 /usr/bin/xprop -root -spy
pi 1649 0.0 0.3 7020 3084 ? S may20 0:00 sudo python temp_panel.py
root 1653 0.3 0.8 23764 8184 ? S may20 14:02 python temp_panel.py
root 1847 0.0 0.3 7020 3132 pts/2 S 17:57 0:00 sudo python controlador_temp.py
root 1851 0.3 0.9 24484 8828 pts/2 S 17:57 0:01 python controlador_temp.py
pi 1863 0.0 0.1 4616 1800 pts/2 S+ 18:02 0:00 grep --color=auto py

```

2.9. BASE DE DATOS EN PHPMYADMIN

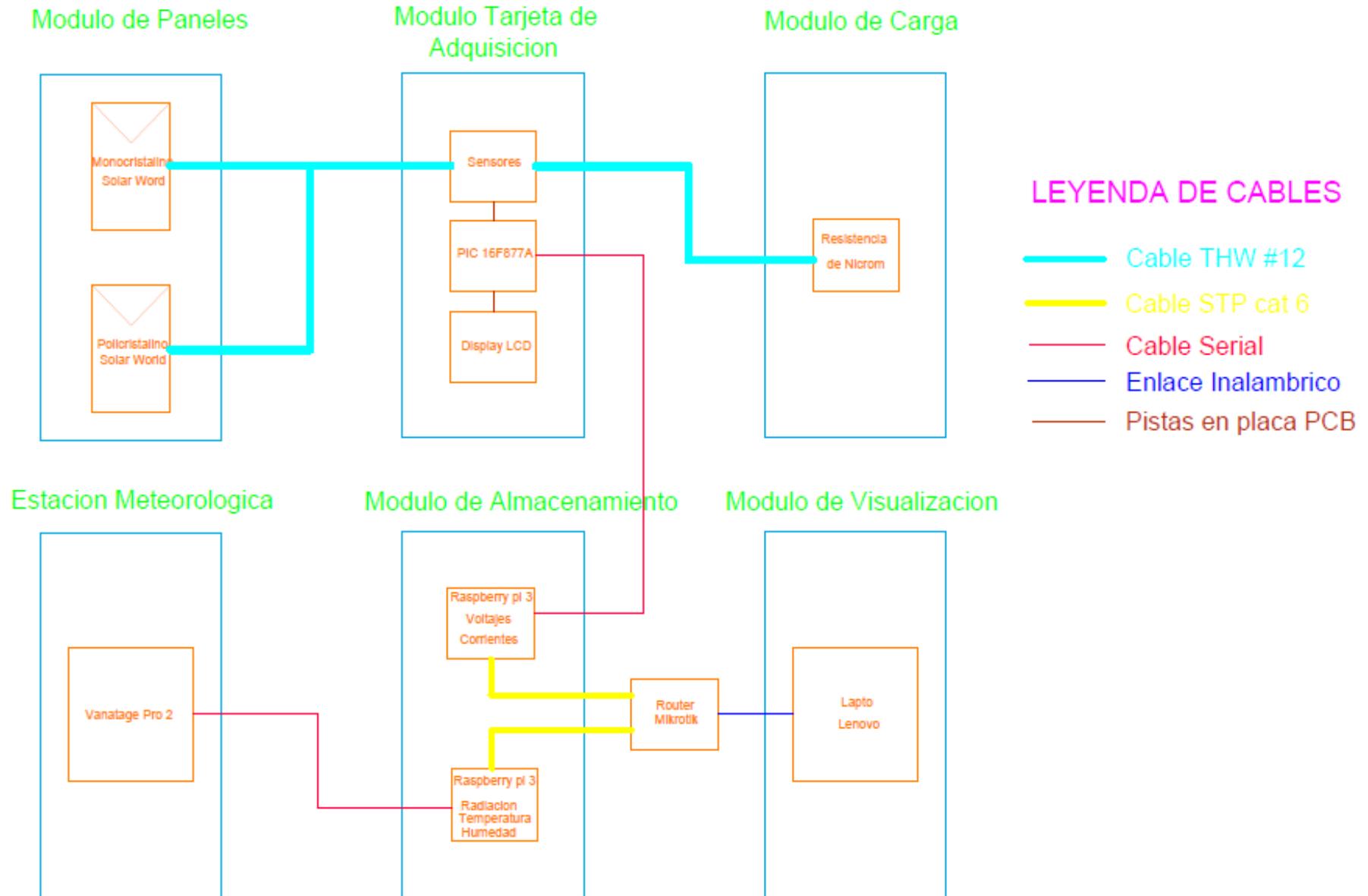
id	fecha	hora	vMonoi	vPolyi	vMonoh	vPolyh	cMonoi	cPolyi	cMonoh	cPolyh	pMonoi	pPolyi	pMonoh	pPolyh	temperatura	humedad_rtv
1	2017-08-03	14:50:31	20.64	20.19	20.67	19.95	1.61	1.58	1.61	1.69	33.23	31.9	33.28	33.72	25.7	29.7
2	2017-08-03	14:51:16	21.22	20.69	21.16	20.19	1.64	1.61	1.61	1.71	34.8	33.31	34.07	34.52	17.9	39.7
3	2017-08-03	14:51:30	21.46	20.78	21.25	20.27	1.65	1.62	1.62	1.71	35.41	33.66	34.43	34.66	19	40.3
4	2017-08-03	14:51:45	21.23	20.75	21.23	19.98	1.65	1.61	1.6	1.71	35.03	33.41	33.97	34.17	19.2	39.8
5	2017-08-03	14:52:00	21.23	20.76	21.23	19.95	1.65	1.62	1.61	1.72	35.03	33.63	34.18	34.31	19.2	39.2
6	2017-08-03	14:52:16	21.23	20.75	21.22	19.89	1.65	1.61	1.6	1.7	35.03	33.41	33.95	33.81	19.9	39.3
7	2017-08-03	14:52:31	21.41	20.94	21.41	20.16	1.64	1.61	1.6	1.71	35.11	33.71	34.26	34.47	20.8	39.2
8	2017-08-03	14:52:46	21.4	20.97	21.4	20.18	1.64	1.61	1.61	1.71	35.1	33.76	34.45	34.51	21.4	38.4
9	2017-08-03	14:53:01	21.25	20.72	21.22	19.98	1.62	1.59	1.59	1.7	34.43	32.94	33.74	33.97	21	37.2
10	2017-08-03	14:53:18	21.27	20.81	21.28	20.02	1.63	1.59	1.59	1.69	34.67	33.09	33.84	33.83	21.4	36
11	2017-08-03	14:53:30	21.04	20.58	21.07	19.89	1.63	1.61	1.6	1.71	34.3	33.13	33.71	34.01	21.3	35.9
12	2017-08-03	14:53:45	21.06	20.6	21.03	19.73	1.63	1.6	1.59	1.7	34.33	32.96	33.44	33.54	21.3	35.6
13	2017-08-03	14:54:01	20.93	20.47	20.97	19.77	1.63	1.6	1.59	1.69	34.12	32.75	33.34	33.41	21.9	35.7
14	2017-08-03	14:54:16	20.91	20.45	20.95	19.89	1.62	1.59	1.6	1.69	33.87	32.52	33.52	33.61	23	35.6
15	2017-08-03	14:54:33	20.9	20.43	20.93	19.79	1.62	1.59	1.6	1.7	33.86	32.48	33.49	33.64	22.1	34.2
16	2017-08-03	14:54:46	20.9	20.43	20.88	19.73	1.61	1.58	1.59	1.68	33.65	32.28	33.2	33.15	22.2	34.3
17	2017-08-03	14:55:03	19.95	19.62	19.92	18.98	1.54	1.52	1.53	1.6	30.72	29.82	30.48	30.37	21.7	33.8
18	2017-08-03	14:55:15	20.99	20.52	21	19.8	1.63	1.59	1.59	1.69	34.21	32.63	33.39	33.46	21.4	33.6
19	2017-08-03	14:55:30	20.32	19.84	20.22	18.92	1.58	1.55	1.52	1.65	32.11	30.75	30.73	31.22	20.5	32.8
20	2017-08-03	14:55:45	20.67	20.28	20.77	19.57	1.61	1.58	1.58	1.69	33.28	32.04	32.82	33.07	19.7	32.9
21	2017-08-03	14:56:01	18.99	18.65	19.15	18.46	1.49	1.48	1.5	1.58	28.3	27.6	28.72	29.17	19.4	34.2

id	fecha	hora	vMono	vPoly	cMono	cPoly	Pout_Mono	Pout_Poly	temp_Monopromedio	temp_Polypromedio	ter
26222	2017-04-28	10:49:00	19.08	18.44	2.76	2.77	52.66	51.08	0	0	0
26223	2017-04-28	10:50:00	19.2	18.55	2.76	2.77	52.99	51.38	0	0	0
26224	2017-04-28	10:51:00	19.32	18.69	2.77	2.78	53.52	51.96	0	0	0
26225	2017-04-28	10:52:00	19.44	18.82	2.76	2.77	53.65	52.13	0	0	0
26226	2017-04-28	10:53:00	19.6	19	2.77	2.78	54.29	52.82	0	0	0
26227	2017-04-28	10:54:00	19.63	19.05	2.77	2.78	54.38	52.96	0	0	0
26228	2017-04-28	10:55:00	19.63	19.04	2.76	2.78	54.18	52.93	0	0	0
26229	2017-04-28	10:56:00	19.67	19.08	2.76	2.77	54.29	52.85	0	0	0
26230	2017-04-28	10:57:00	19.76	19.17	2.76	2.77	54.54	53.1	0	0	0
26231	2017-04-28	10:58:00	19.93	19.31	2.77	2.77	55.21	53.49	0	0	0
26232	2017-04-28	10:59:00	20.23	19.63	2.77	2.78	56.04	54.57	0	0	0
26233	2017-04-28	11:00:00	20.42	19.79	2.76	2.77	56.36	54.82	0	0	0
26234	2017-04-28	11:01:00	20.72	20.07	2.76	2.76	57.19	55.39	0	0	0
26235	2017-04-28	11:02:00	20.28	19.65	2.76	2.77	55.97	54.43	0	0	0
26236	2017-04-28	11:03:00	20.07	19.47	2.78	2.78	55.79	54.13	0	0	0
26237	2017-04-28	11:04:00	20.4	19.78	2.77	2.78	56.51	54.99	0	0	0
26238	2017-04-28	11:05:00	19.79	19.21	2.76	2.77	54.62	53.21	0	0	0
26239	2017-04-28	11:06:00	19.75	19.1	2.77	2.78	54.71	53.1	0	0	0
26240	2017-04-28	11:07:00	19.77	19.15	2.76	2.78	54.57	53.24	0	0	0
26241	2017-04-28	11:08:00	19.84	19.19	2.76	2.77	54.76	53.16	0	0	0
26242	2017-04-28	11:09:00	19.92	19.28	2.76	2.77	54.98	53.41	0	0	0
26243	2017-04-28	11:10:00	19.96	19.33	2.76	2.77	55.06	53.54	0	0	0

2.10. CARGAS RESISTIVAS DE NICROM DE 12.5 OHM PARA AMBOS MÓDULOS MONO CRISTALINO Y POLICRISTALINO



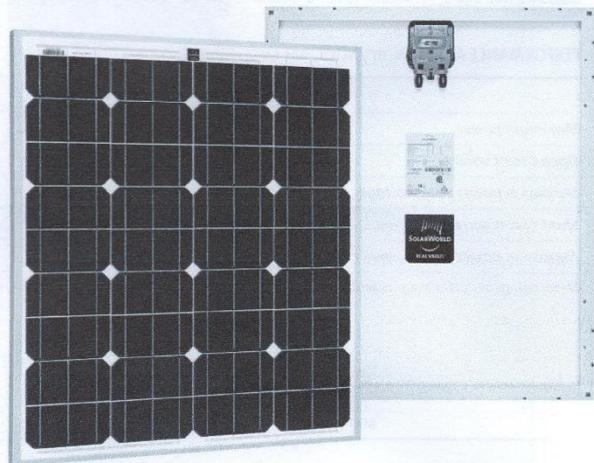
2.11. PLANO UNIFILAR ELECTRICO PARA REALIZAR EL ESTUDIO



ANEXO 3 HOJAS DE DATOS DE LOS EQUIPOS

3.1. HOJA DE DATOS DEL MODULO MONOCRISTALINO DE 80W

Sunmodule®
SW 80 MONO RHA



TUV Power controlled:
Lowest measuring tolerance in industry



25-year performance warranty and
5-year product warranty

World-class quality

Fully-automated production lines and seamless monitoring of the process and material ensure the quality that the company sets as its benchmark for its sites worldwide.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark guarantees that the nominal power indicated for solar modules is inspected at regular intervals and thus ensured. The deviation to TUV is maximum 2 percent.

Resistant to extreme weather conditions: SolarWorld modules, tested and certified, are resistant against sandstorms, high winds or saline environments.

SolarWorld Limited Warranty at purchase.
www.solarworld.com/warranty



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic Inspection
- Blowing sand resistant



- Ammonia resistance tested
- Periodic Inspection
- Power Controlled

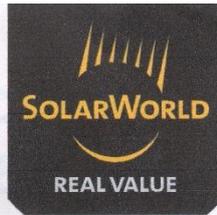


solarworld.com



Sunmodule®

SW 80 MONO RHA



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 80
Maximum power	P_{max}	80 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	22.5 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	18.5 V
Short circuit current	I_{sc}	4.66 A
Maximum power point current	I_{mpp}	4.35 A

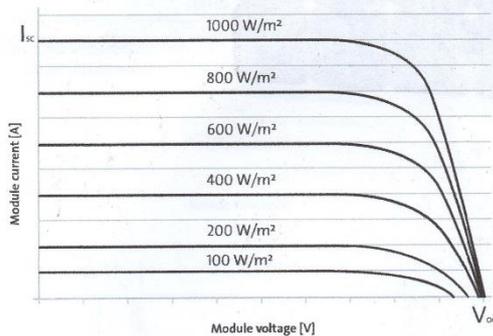
Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power Controlled).

*STC: 1000W/m², 25 °C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 80
Maximum power	P_{max}	58.1 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	20.3 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	16.7 V
Short circuit current	I_{sc}	3.79 A
Maximum power point current	I_{mpp}	3.48 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.



THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0.04 % / °C
TC V_{oc}	-0.30 % / °C
TC P_{mpp}	-0.41 % / °C
Operating temperature	-40 °C to 85 °C

COMPONENT MATERIALS

Cells per module	36
Cell type	Monocrystalline
Cell dimensions	3.07 in x 6.14 in (78 mm x 156 mm)
Front	Tempered glass (EN 12150)
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	13.7 lbs (6.2 kg)

SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

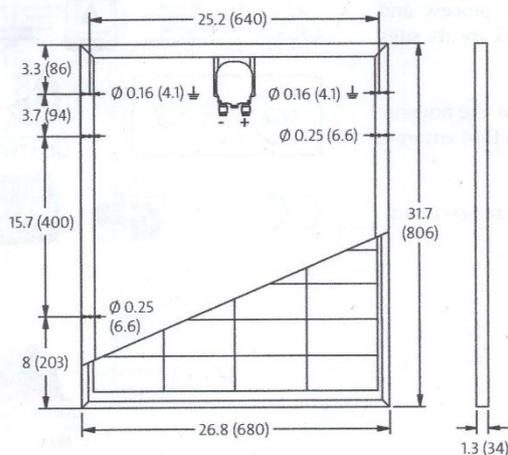
Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum system voltage NEC	600 V
Maximum reverse current	16 A
Number of bypass diodes	2

Design Loads* **Two rail system** 113 psf downward
50 psf upward

*Please refer to the Sunmodule installation instructions for the details associated with these load cases.

ADDITIONAL DATA

Power sorting	-5/+10 %
J-Box	IP65
Module type (UL 1703)	1



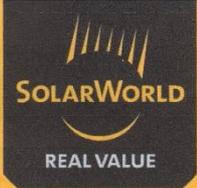
All units provided are imperial. SI units provided in parentheses.
SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.

SW-01-6111US 160331

3.2. HOJA DE DATOS DEL MODULO POLICRISTALINO 150W

Sunmodule[®]

SW 150 poly R6A



Data sheet



High Quality Engineering
by SolarWorld

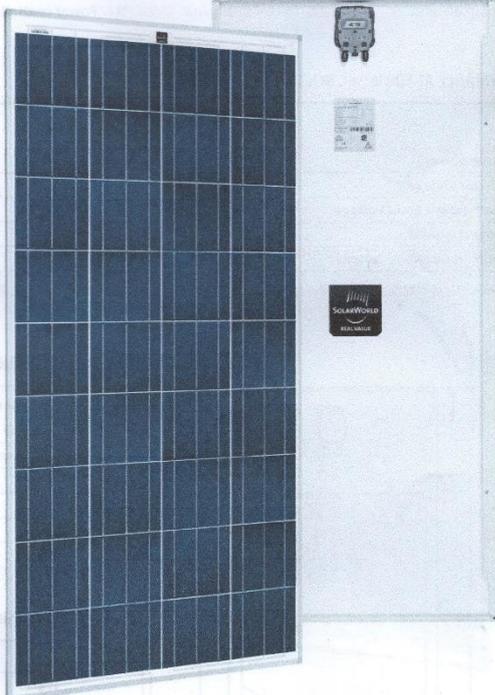
Quality made by SolarWorld



TUV Power controlled:
Lowest measuring tolerance in industry



25 year performance warranty and
5 year product warranty



SolarWorld quality standards go far beyond the norm. SolarWorld applies these high standards for product quality at all its production sites. SolarWorld specifications, quality guidelines and tests, and defined quality materials are the same throughout the world.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark guarantees that the nominal power indicated for solar modules is inspected at regular intervals and thus ensured. The deviation to TUV is maximum 2 percent.

Resistant to extreme weather conditions: SolarWorld modules, tested and certified, are resistant against sandstorms, high winds or saline environments.

www.solarworld.com

Sunmodule[®] SW 150 poly R6A



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 150
Maximum power	P_{max}	150 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	22.5 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	18.3 V
Short circuit current	I_{sc}	8.81 A
Maximum power point current	I_{mpp}	8.27 A

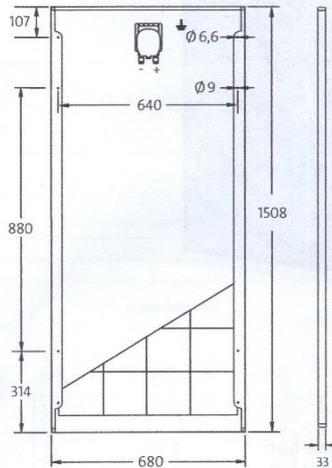
Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 150
Maximum power	P_{max}	110.1 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	20.5 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	16.6 V
Short circuit current	I_{sc}	7.17 A
Maximum power point current	I_{mpp}	6.62 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.



COMPONENT MATERIALS

Cells per module	36
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	Tempered safety glass (EN 12150)
Back	Film, white
Frame	Clear anodized aluminum
J-Box	IP65

DIMENSIONS / WEIGHT

Length	1508 mm
Width	680 mm
Height	33 mm
Weight	11.8 kg

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
$TK I_{sc}$	0.051 %/K
$TK U_{oc}$	-0.31 %/K
$TK P_{mpp}$	-0.43 %/K

PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Power sorting	-5 % / +10 %
Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	15 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m ²
Number of bypass diodes	2
Operating range	-40°C bis + 85°C

ORDERING INFORMATION

Order number	Description
82000148	Sunmodule SW 150 poly R6A



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

2016-06-20 EN

3.3. HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CORRIENTE ACS712 -.20A



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TUV America
Certificate Number:
UBV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

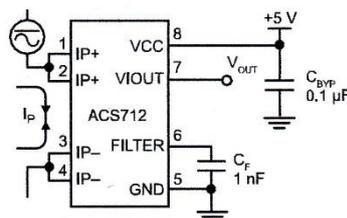
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFR}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

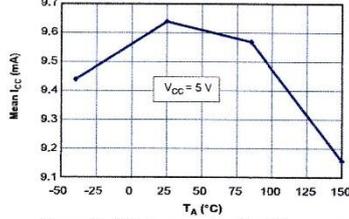
2

ACS712

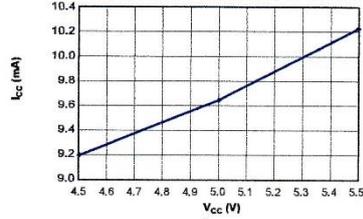
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Characteristic Performance $I_p = 20\text{ A}$, unless otherwise specified

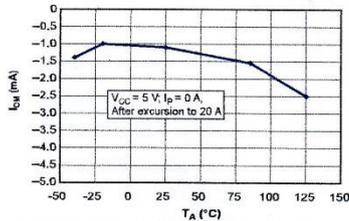
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



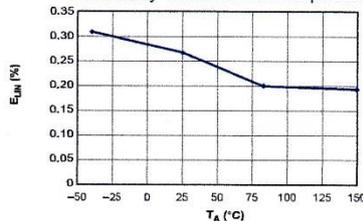
Supply Current versus Supply Voltage



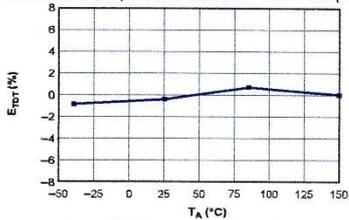
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



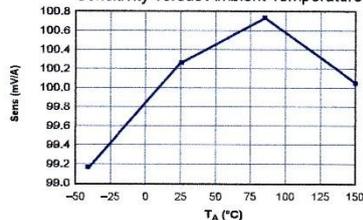
Nonlinearity versus Ambient Temperature



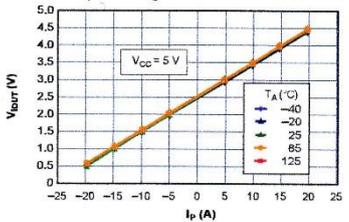
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



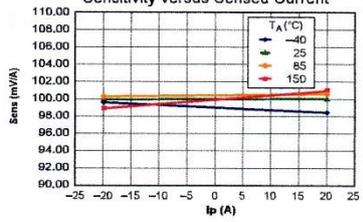
Sensitivity versus Ambient Temperature



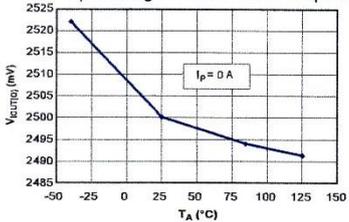
Output Voltage versus Sensed Current



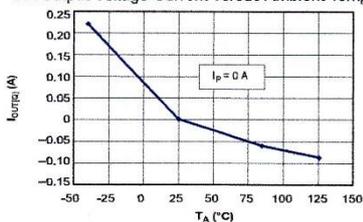
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



Allegro Microsystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in device output in response to a 1A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{IOUT_full-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})}{2 (V_{IOUT_half-scale \text{ amperes}} - V_{IOUT(Q)})} \right] \right\}$$

where $V_{IOUT_full-scale \text{ amperes}}$ = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale $\pm I_p$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{IOUT_+ \text{ full-scale amperes}} - V_{IOUT(Q)}}{V_{IOUT(Q)} - V_{IOUT_ - \text{ full-scale amperes}}} \right)$$

Quiescent output voltage (V_{IOUT(Q)}). The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, $V_{CC} = 5$ V translates into $V_{IOUT(Q)} = 2.5$ V. Variation in $V_{IOUT(Q)}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

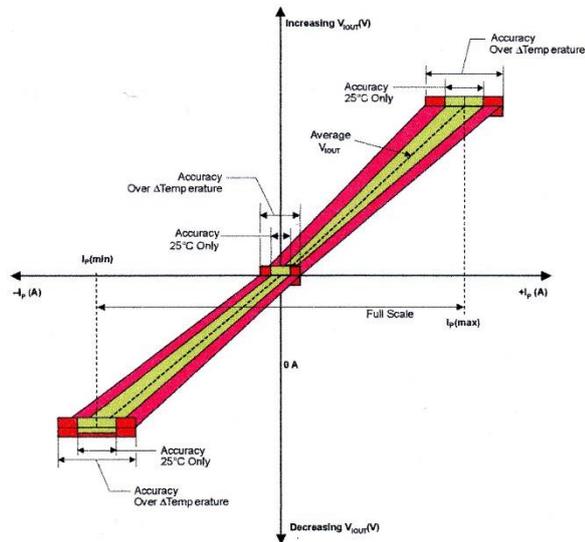
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{IOUT(Q)}$ (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{IOUT(Q)RAT}$ (%).

$$100 \left(\frac{V_{IOUT(Q)VCC} / V_{IOUT(Q)5V}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, ΔSens_{RAT} (%), is defined as:

$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{VCC} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

Output Voltage versus Sampled Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current



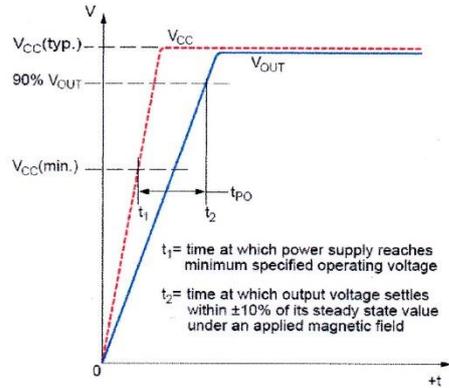
Allegro Microsystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

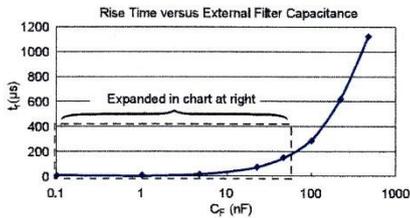
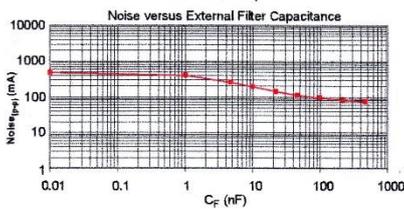
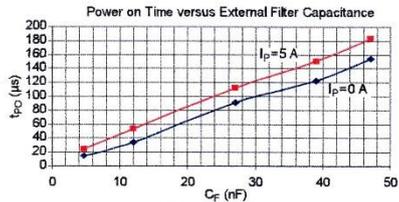
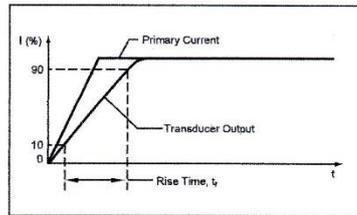
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Dynamic Response Characteristics

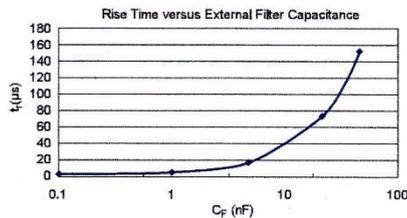
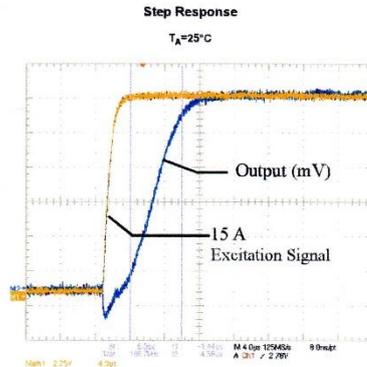
Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC(min)}$, as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (nF)	t_r (μ s)
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	623
470	1120



Allegro MicroSystems, LLC
 115 Northeast Cutoff
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
 1.508.853.5000; www.allegromicro.com

3.4. EQUIPO DE MEDICION MULTIMETRO DIGITAL

YF-3700A Digital Multimeter

is designed and built according to the EMC Directive standards EN 0081-1, EN 50082-1, EN 55011, IEC 801-2/-3 and comply with BSEN 61010-1 / IEC 1010-1. Probe Kit comply with IEC1010-2-31.



FUNCTIONS

- Auto power off (30 minutes)
- Function keys: Data Hold, REL, MEM, READ, MIN./MAX., RESET, PWR ON, RANGE.
- Test Ranges: ACV, DCV, ACA, DCA, Resistance, Frequency, Diode, Capacitance, Continuity.

SAMPLING SPEED

- Sampling rate: 2 times per second for digital display. 1 time per second for Capacitance test. 20 times per second for Bargraph.

ACCESSORIES

- User's manual • Holster
- Test leads • 1.5V battery x 2pcs

POWER SUPPLY

- Battery type: 1.5V "AA" or UM-3 x 2pcs
- Battery life: 100 hours approx.

DIMENSION:

- Size: 186 x 86 x 39mm (L x W x H)
- Weight: About 825g. (including battery)

DISPLAY

- 3¾ digits LCD with maximum reading of 3999
- High speed bargraph
- Automatic polarity, "-" display for negative input.
- Overload indication: "4" or "-4" flash with continuous buzz.
- Low battery indication: Replace battery as LCD display " BATT "

SPECIFICATION

Accuracy: \pm (.....%rdg+.....dgt) at 23°C \pm 5°C, below 80% RH.

	Range	Resolution	Accuracy	Input impedance	Overload protection	
DCV	400mV	0.1mV	\pm (0.5%rdg+1dgt)	100M Ω	DC1000V	
	4V	1mV		11M Ω		
	40V	10mV		10M Ω		
	400V	100mV				
	1000V	1V	\pm (0.5%rdg+2dgt)			
ACV	400mV	0.1mV	\pm (1.0%rdg+4dgt)	100M Ω	AC1000V	
	4V	1mV	\pm (1.0%rdg+3dgt)	11M Ω		
	40V	10mV		10M Ω		
	400V	100mV				
	750V	1V		\pm (1.2%rdg+4dgt)		
DCA	4mA	0.001mA	\pm (0.8%rdg+1dgt)	<0.7V	0.5A/250V Fuse	
	40mA	0.01mA	\pm (1%rdg+1dgt)		<2V	10A/250V Fuse
	400mA	0.1mA				
	10A	10mA	\pm (2%+1)			
	ACA	4mA	0.001mA	\pm (1.2%rdg+4dgt)	<0.7V	0.5A/250V Fuse
40mA		0.01mA				
400mA		0.1mA				
10A		10mA	\pm (2%+1)			
Resistance		400 Ω	100m Ω	\pm (0.8%+5)	>0.4V	DC/AC 500V
	4K Ω	1 Ω				
	40K Ω	10 Ω	\pm (0.8%+1)			
	400K Ω	100 Ω				
	4M Ω	1K Ω	\pm (3%+2)			
	40M Ω	10K Ω				
Frequency	100Hz	0.01Hz	\pm (0.5%+1)	5Vrms	AC/DC 500V rms	
	1KHz	0.1Hz				
	10KHz	1Hz				
	100KHz	10Hz				
	500KHz	100Hz				
Capacitance	4nF	1pF	\pm (3%+10)	1V	AC/DC 500V	
	40nF	10pF				
	400nF	100pF				
	4 μ F	1nF				
	30 μ F	10nF				
Diode test	Range	Resolution	Accuracy	Test current	Open-circuit voltage	Overload protection
	DC4V	1mV	2%	0.7mA	3V	DC/AC 500V
Continuity test	Range	Resolution	Sound level	Open-circuit voltage	Overload protection	
	400 Ω	0.1 Ω	Below 40 Ω	Max. 3.3V	DC/AC 500V	

ANEXO 4 RESULTADOS DATOS DE VOLTAJE, CORRIENTE

4.1. TABLA OBTENIDA DE LA BASE DE DATOS

fecha	MAX(vMono)	MAX(vPoly)	AVG(vMono)	AVG(vPoly)	MAX(cMono)	MAX(cPoly)	AVG(cMono)	AVG(cPoly)
01/04/2017	22,26	21,76	18,90	19,01	3,03	3,03	1,54	1,55
03/04/2017	20,65	20,14	16,66	16,27	2,04	2,03	1,85	1,84
04/04/2017	20,71	20,23	7,92	7,76	2,04	2,03	1,17	1,16
05/04/2017	20,38	19,84	10,75	10,59	2,81	2,85	0,84	0,85
06/04/2017	20,55	19,79	16,24	15,44	3,03	3,08	2,66	2,71
07/04/2017	20,52	20,52	8,84	8,43	2,95	3,06	1,97	2,04
10/04/2017	19,68	19,46	11,08	10,39	2,87	2,91	2,77	2,71
11/04/2017	21,34	20,77	17,99	17,52	1,00	0,99	0,91	0,90
12/04/2017	21,53	21,03	15,22	15,02	3,27	3,27	1,79	1,80
13/04/2017	21,88	21,05	10,99	10,65	2,85	2,86	2,00	2,02
14/04/2017	21,75	21,14	10,74	10,44	2,81	2,84	2,05	2,15
15/04/2017	21,86	21,18	11,08	10,66	2,80	2,84	1,94	1,95
16/04/2017	21,39	20,73	11,93	11,82	2,80	2,85	2,16	2,19
17/04/2017	21,36	20,67	10,08	9,55	2,82	2,88	2,04	2,09
18/04/2017	21,78	21,08	6,20	5,80	3,07	3,06	1,54	1,54
19/04/2017	21,44	20,79	11,39	12,19	3,10	3,12	2,20	2,23
20/04/2017	22,75	22,19	15,15	14,47	3,24	3,19	2,53	2,56
21/04/2017	22,06	20,47	5,06	3,97	3,06	3,06	1,23	1,29
22/04/2017	20,72	19,90	9,75	8,79	2,95	2,97	2,03	2,08
23/04/2017	21,87	21,11	6,45	6,00	2,95	2,97	1,72	1,72
24/04/2017	21,58	20,69	5,39	5,06	2,86	2,88	1,51	1,50
25/04/2017	21,43	20,66	12,81	11,59	2,87	2,88	2,20	2,20
26/04/2017	21,71	21,05	6,94	6,60	2,86	2,88	1,83	1,83
27/04/2017	22,26	21,58	10,04	9,58	2,85	2,86	2,09	2,08

28/04/2017	21,71	21,05	7,24	6,93	2,79	2,79	1,47	1,47
fecha	MAX(vMono)	MAX(vPoly)	AVG(vMono)	AVG(vPoly)	MAX(cMono)	MAX(cPoly)	AVG(cMono)	AVG(cPoly)
29/04/2017	22,41	21,90	4,10	3,82	2,78	2,80	1,60	1,59
30/04/2017	22,10	21,45	9,12	8,46	2,79	2,80	1,96	1,94
Promedio	21,47	20,82	10,67	10,42	2,79	2,81	1,84	1,85
01/05/2017	21,63	20,92	10,44	9,78	2,79	2,80	2,08	2,04
02/05/2017	21,59	20,92	10,75	9,64	2,79	2,79	1,90	1,89
03/05/2017	21,70	21,02	8,06	7,56	2,78	2,79	1,73	1,74
04/05/2017	21,59	21,05	12,93	12,31	2,78	2,80	2,21	2,20
05/05/2017	21,23	20,50	9,71	8,84	2,79	2,80	1,90	1,88
06/05/2017	21,78	21,10	9,12	8,41	2,78	2,80	1,99	1,98
07/05/2017	22,07	21,41	7,88	7,70	2,78	2,80	1,79	1,77
08/05/2017	21,75	21,07	10,38	9,59	2,78	2,81	1,87	1,85
09/05/2017	22,97	20,30	6,12	4,87	2,80	2,80	1,06	1,56
10/05/2017	20,87	20,24	6,27	6,01	2,80	2,80	1,64	1,63
11/05/2017	22,74	20,81	17,33	10,13	0,16	2,81	0,14	1,99
12/05/2017	22,10	19,87	1,72	1,31	0,16	2,81	0,14	2,07
13/05/2017	22,40	20,28	17,16	12,34	0,60	2,81	0,14	2,03
14/05/2017	22,17	20,03	17,50	5,46	0,16	2,80	0,14	1,78
15/05/2017	22,60	19,95	17,03	9,15	0,16	2,81	0,14	1,78
16/05/2017	22,63	21,12	15,91	9,66	2,80	2,81	1,81	2,07
17/05/2017	22,30	20,34	15,60	10,23	2,79	2,76	0,98	2,01
18/05/2017	22,66	20,66	17,88	13,23	3,11	3,10	1,43	2,17
19/05/2017	21,26	20,62	11,90	11,23	2,91	2,95	2,22	2,19
20/05/2017	21,21	20,48	8,12	7,35	2,91	2,94	1,93	1,91
21/05/2017	22,21	21,46	4,73	5,04	2,92	2,93	1,76	1,74
22/05/2017	20,57	20,11	13,53	14,83	2,79	2,82	1,29	1,30

23/05/2017	22,45	21,39	2,88	2,43	2,78	2,91	1,46	1,47
24/05/2017	22,01	21,20	6,33	5,63	2,58	2,55	1,68	1,66
fecha	MAX(vMono)	MAX(vPoly)	AVG(vMono)	AVG(vPoly)	MAX(cMono)	MAX(cPoly)	AVG(cMono)	AVG(cPoly)
25/05/2017	22,15	22,33	6,08	5,46	2,58	2,58	1,62	1,60
26/05/2017	22,35	21,64	10,11	10,36	2,59	2,61	1,92	1,90
27/05/2017	21,95	21,26	8,78	8,44	2,59	2,57	1,57	1,56
28/05/2017	21,89	21,09	7,66	7,06	2,58	2,57	1,79	1,76
29/05/2017	21,84	21,09	7,70	7,35	2,58	2,57	1,69	1,66
30/05/2017	21,91	21,06	11,42	11,01	2,59	2,57	1,87	1,85
31/05/2017	21,59	20,79	11,53	10,68	2,59	2,57	1,89	1,86
Promedio	21,94	20,84	10,40	8,49	2,35	2,77	1,48	1,84
01/06/2017	21,15	20,37	7,85	7,27	2,59	2,57	1,74	1,73
02/06/2017	21,91	21,17	5,88	5,98	2,59	2,57	1,48	1,47
03/06/2017	22,02	21,28	9,66	9,68	2,59	2,58	1,91	1,88
04/06/2017	21,91	21,14	10,13	10,37	2,59	2,57	1,85	1,83
05/06/2017	21,88	21,18	11,13	11,14	2,60	2,57	1,99	1,96
06/06/2017	21,63	20,86	11,80	11,72	2,59	2,57	2,00	1,96
07/06/2017	21,83	21,02	11,91	11,07	2,60	2,57	1,95	1,90
08/06/2017	20,83	20,26	12,81	12,68	2,60	2,58	1,99	1,97
09/06/2017	21,28	20,40	12,77	12,81	2,60	2,57	1,99	1,96
10/06/2017	21,21	20,53	12,82	12,52	2,60	2,58	1,99	1,97
11/06/2017	20,99	20,24	13,80	13,43	2,60	2,57	2,08	2,01
12/06/2017	20,72	19,94	13,63	13,61	2,60	2,57	2,07	2,04
13/06/2017	20,86	19,98	13,75	13,59	2,60	2,57	2,06	2,04
14/06/2017	21,40	20,49	9,19	7,92	2,60	2,57	1,87	1,79
15/06/2017	21,76	20,88	8,89	8,16	2,60	2,57	1,69	1,64
16/06/2017	21,76	20,86	9,19	7,91	2,60	2,57	1,66	1,55

17/06/2017	20,54	19,76	13,34	13,07	2,60	2,57	2,06	2,03
18/06/2017	20,71	19,87	13,31	13,06	2,60	2,57	2,06	2,03
19/06/2017	21,78	20,92	11,29	9,90	2,60	2,56	1,94	1,87
fecha	MAX(vMono)	MAX(vPoly)	AVG(vMono)	AVG(vPoly)	MAX(cMono)	MAX(cPoly)	AVG(cMono)	AVG(cPoly)
20/06/2017	21,63	20,78	12,23	11,25	2,60	2,57	1,95	1,89
21/06/2017	21,60	20,80	9,14	8,82	2,61	2,58	1,66	1,62
22/06/2017	21,72	20,92	11,09	11,14	2,60	2,57	1,85	1,84
23/06/2017	21,87	20,99	11,99	11,52	2,60	2,57	2,02	1,97
24/06/2017	21,60	20,89	11,95	11,46	2,61	2,57	1,98	1,93
25/06/2017	20,86	20,09	13,41	13,05	2,61	2,57	2,05	2,02
26/06/2017	20,87	20,23	13,55	13,23	2,60	2,57	2,05	2,02
27/06/2017	21,36	20,54	10,23	9,88	2,61	2,58	1,93	1,88
28/06/2017	21,53	20,71	9,08	8,82	2,60	2,57	1,84	1,88
Promedio	21,40	20,61	11,28	10,89	2,60	2,57	1,92	1,88
11/07/2017	21,92	21,07	12,57	13,07	2,52	2,54	1,96	2,00
12/07/2017	21,87	21,00	12,01	11,28	2,52	2,54	1,82	1,80
13/07/2017	21,19	20,41	11,97	12,54	2,53	2,55	1,86	1,86
14/07/2017	20,73	19,83	13,23	13,44	2,54	2,54	2,00	2,00
15/07/2017	20,74	19,92	13,30	13,51	2,54	2,55	2,02	2,01
16/07/2017	20,72	19,92	13,26	13,50	2,54	2,55	2,02	2,01
17/07/2017	21,53	20,65	10,37	10,28	2,55	2,55	1,84	1,83
18/07/2017	21,66	20,82	13,08	12,33	2,55	2,55	1,98	1,95
19/07/2017	20,90	20,00	12,69	13,32	2,55	2,55	2,03	2,00
20/07/2017	20,57	19,71	12,57	13,23	2,56	2,54	2,04	2,00
21/07/2017	20,62	19,74	13,05	13,79	2,56	2,60	1,99	1,99
22/07/2017	20,80	20,00	12,99	13,55	2,50	2,60	1,97	2,05
23/07/2017	20,70	19,74	12,77	13,40	2,55	2,59	2,04	2,06

24/07/2017	20,80	20,02	13,04	13,20	2,57	2,61	2,05	2,05
25/07/2017	21,68	20,80	11,81	11,91	2,57	2,62	1,95	1,95
26/07/2017	21,12	20,00	11,92	12,30	2,58	2,62	1,90	1,91
27/07/2017	20,86	20,06	9,70	10,09	2,59	2,62	1,74	1,74
fecha	MAX(vMono)	MAX(vPoly)	AVG(vMono)	AVG(vPoly)	MAX(cMono)	MAX(cPoly)	AVG(cMono)	AVG(cPoly)
28/07/2017	21,62	20,78	11,15	10,67	2,60	2,62	1,82	1,81
29/07/2017	22,08	21,23	7,90	7,48	2,60	2,62	1,75	1,75
30/07/2017	21,30	20,58	11,20	10,53	2,60	2,62	1,89	1,88
31/07/2017	22,46	19,84	21,23	13,12	0,15	2,62	0,13	2,08
Promedio	21,23	20,29	12,47	12,22	2,44	2,58	1,85	1,94

ANEXO 5 FOTOS

5.1. FOTO MIDIENDO LA INCLINACION DEL PANEL MONOCRISTALINO



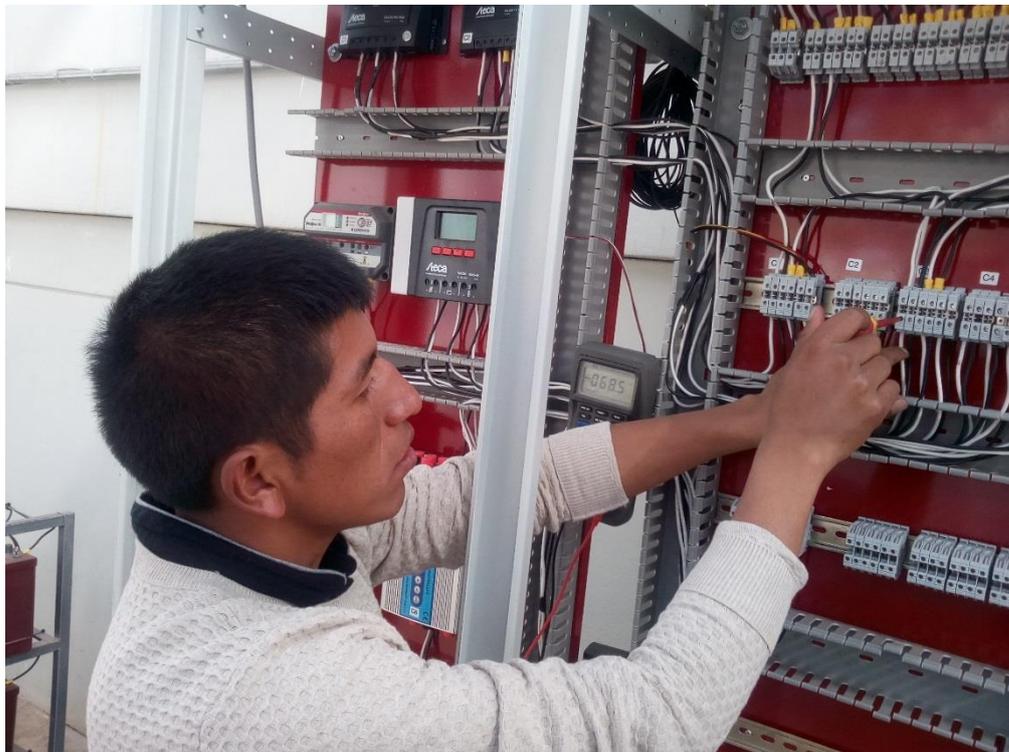
5.2. FOTO MIDIENDO LA INCLINACION DEL PANEL POLICRISTALINO



5.3. FOTO MIDIENDO LA TENSION DE PANEL FOTOVOLTAICO



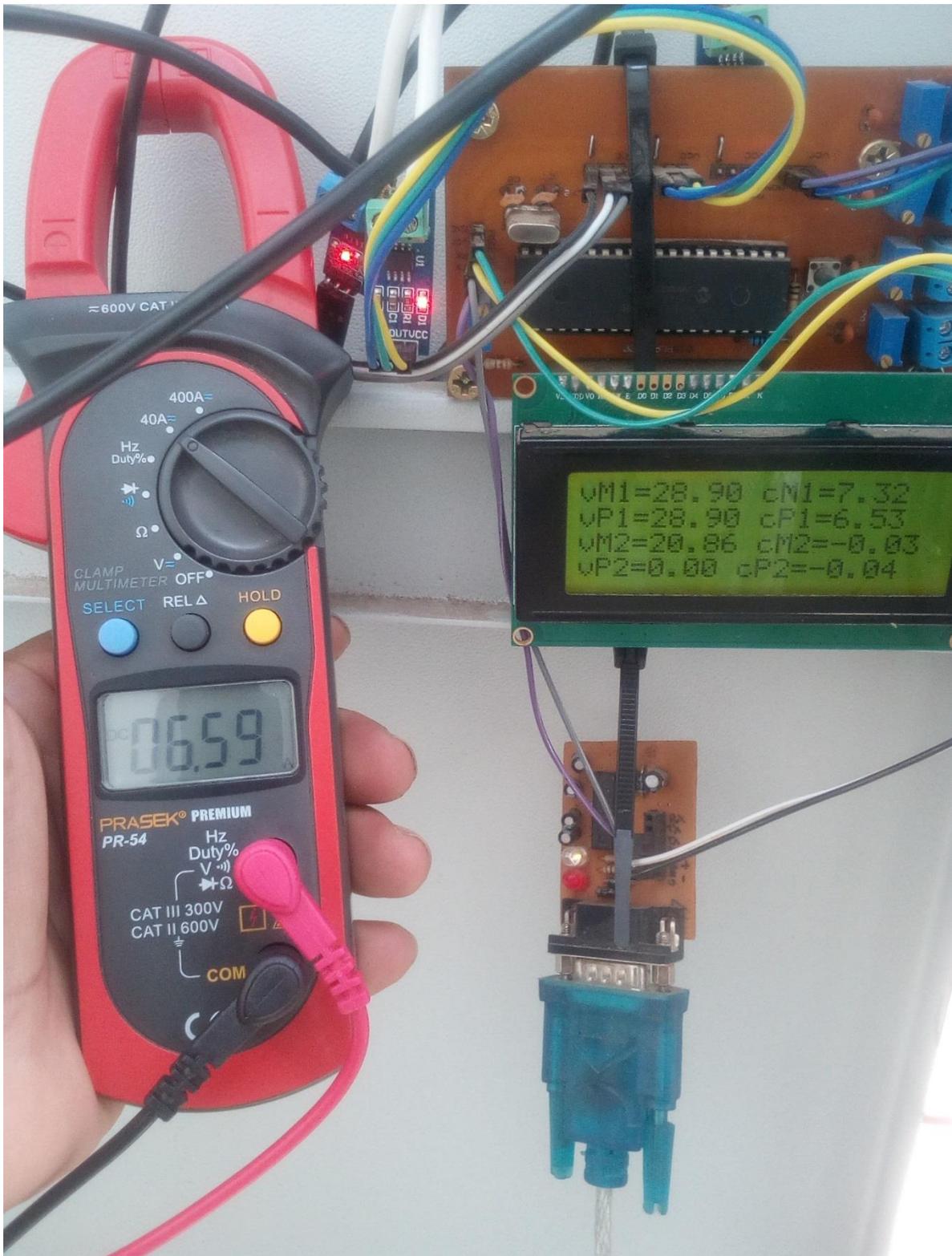
5.4. FOTO REALIZANDO CONEXIONES EN EL TABLERO QUE SE ENCUENTRA EN EL OBSERVATORIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



5.5. FOTO INSTALACION DE LA ESTACION METEOROLOGICA



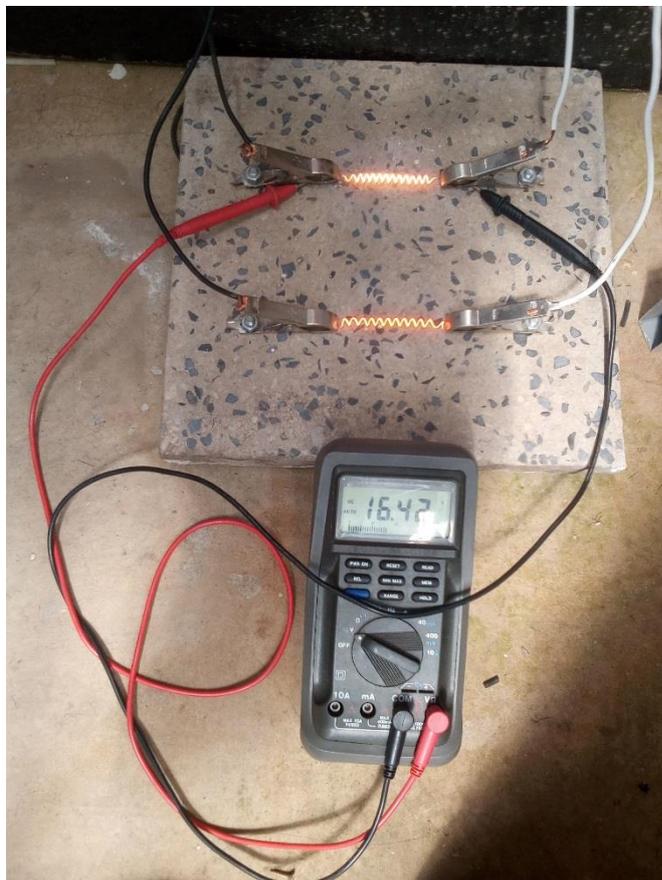
5.6. FOTO REALIZANDO LA CALIBRACION DE CORRIENTE DEL PANEL POLICRISTALINO EN LA TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS.



5.7. FOTO CARAGAS ELECTRONICAS



5.8. FOTO CARGAS DE NICROM DE 2.2 OHM



ANEXO 6 GRAFICAS DE LOS RESULTADOS